

Información Importante

La Universidad Santo Tomás, informa que el(los) autor(es) ha(n) autorizado a usuarios internos y externos de la institución a consultar el contenido de este documento a través del Catálogo en línea del CRAI-Biblioteca y el Repositorio Institucional en la página Web de la CRAI-Biblioteca, así como en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

Se permite la consulta a los usuarios interesados en el contenido de este documento, para todos los usos que tengan **finalidad académica**, nunca para usos comerciales, siempre y cuando mediante la correspondiente cita bibliográfica se le dé crédito al trabajo de grado y a su autor.

De conformidad con lo establecido en el Artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, la Universidad Santo Tomás informa que “los derechos morales sobre documento son propiedad de los autores, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.”

**Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación, CRAI-Biblioteca
Universidad Santo Tomás, Bucaramanga**

**RECUPERACIÓN DE LA COBERTURA VEGETAL Y PROPIEDADES
ECOLÓGICAS MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE LA ESPECIE HERBÁCEA
Centrosema macrocarpum EN LOS SUELOS DE BOSQUE SECO TROPICAL
DEGRADADOS EN LA UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER
SECCIONAL OCAÑA. COLOMBIA.**

JHON SALVADOR AREVALO BACCA

Director

RICARDO RESTREPO

Biólogo

Codirector

Msc. LUIS CARLOS ESTUPIÑAN

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS, SECCIONAL BUCARAMANGA

DIVISIÓN DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA

FACULTAD DE QUIMICA AMBIENTAL

MAESTRÍA EN CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS AMBIENTALES

Bucaramanga, Colombia

Agosto de 2017.

Agradecimientos

Biólogo Ricardo Restrepo, Especialista, Director del proyecto. Universidad Santo Tomás, Bucaramanga. Colombia.

Química, Magister, Martha Cervantes, Coordinadora de la Maestría en Ciencias y Tecnologías Ambientales. Universidad Santo Tomás, Bucaramanga. Colombia

Ingeniera Ambiental, Especialista, Leddy Pérez Pérez, Asociación Ambiental My Quenk. Ocaña, Norte de Santander. Colombia.

Laboratorio de Suelos. Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.

Laboratorio de Suelos. Universidad Francisco de Paula Santander, Ocaña. Colombia.

Proyecto de Jardín Botánico. Universidad Francisco de Paula Santander, Ocaña. Colombia.

Estudiantes de Ingeniería Ambiental. Asignatura de Restauración Ambiental y Paisajística. Universidad Francisco de Paula Santander, Ocaña. Colombia.

Índice

Capítulo 1: Planteamiento del Problema	12
Capítulo 2: Justificación.....	15
Capítulo 3: Objetivos.....	19
3.1 Objetivo general	19
3.2 Objetivos específicos	19
Capítulo 4: Marco referencial.....	20
4.1. Marco teórico	20
4.2. Marco legal.....	29
4.3. Estado del arte	31
Capítulo 5: Diseño metodológico	37
5.1 Reconocimiento, diagnostico fisicoquímico y establecimiento de parcelas en el área de estudio.	39
5.1.1 Identificación del tipo, clase y grado de erosión.	41
5.1.2 Toma de muestras para análisis fisicoquímico.	42
5.1.3 Determinación de concentraciones de minerales, pH y materia orgánica.	44
5.2 Siembra de la especie <i>Centrosema macrocarpum</i>	44
5.2.1 Preparación del terreno	45
5.2.2 Siembra	45
5.3 Seguimiento y monitoreo.....	47
5.3.1 Cuantificación de la germinación	50
5.3.2 Tasa de crecimiento.	51
5.3.3 Índice de área foliar.	51
Capítulo 6: Resultados y discusión.....	54
6.1 Características fisicoquímicas del suelo, resultados del análisis de laboratorio del año 2016.	54
6.2 Análisis de suelo	62
6.3 Tipo de erosión.	70
6.4 Registro de precipitaciones y temperaturas	71
6.5 Fotointerpretación y clasificación de cobertura.....	74
6.6 Cuantificación de la germinación. (<i>ex situ</i> .)	75
6.7 Análisis del desarrollo de la especie <i>Centrosema macrocarpum</i> en el año 2016.	76
6.7.1 Tasa de crecimiento.	76
6.7.2 Índice de área foliar.	79
Capítulo 7: Conclusiones.....	86
Referencias.....	88

Apéndice.....	105
Apéndice A.....	105
Ruta de accesibilidad al área de estudio (metodología)	105
Apéndice B.....	106
Fotografías aéreas (metodología)	106
Apéndice C.....	107

Lista de Tablas

Tabla 1. Registros climáticos red de monitoreo UFPSO.	21
Tabla 2. Precipitación media anual en la estación meteorológica: 16055100 UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER. Perteneciente a la red nacional de monitoreo climático.....	291
Tabla 3. Marco legal sobre restauración y recuperación de suelos según la legislación vigente en Colombia.....	28
Tabla 4. Procedimiento metodológico por fases actividades y acciones.....	37
Tabla 5. Métodos para análisis químicos de suelos	41
Tabla 6. Programación de visitas de campo	488
Tabla 7. Descripción de las metas, indicadores y cuantificadores a considerar según la propuesta del MADS (2007).	523
Tabla 8. Interpretación de materia orgánica presente en el suelo.	578
Tabla 9. Discusión de análisis de suelos del año 2016 y 2017.	624
Tabla 10. Precipitación mensual de los años 2016 y 2017 de los meses influyentes en el proyecto según la estación meteorológica: 16055100 UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER. Perteneciente a la red nacional de monitoreo climático y Temperatura mensual de los años 2016-2017 para los meses del proyecto en la estación meteorológica: 16055100 UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER. Perteneciente a la red nacional de monitoreo climático	715
Tabla 11. Medición 1. 03 de Septiembre de 2016. Altura promedio 3.35 cms	110
Tabla 12. Medición 2. 10 de Septiembre de 2016. Altura promedio 4.45 cms	110
Tabla 13. Medición 3. 17 de Septiembre de 2016. Altura promedio 5.96 cms	112
Tabla 14. Medición 4. 24 de Septiembre de 2016.. Altura promedio 6.2 cms	113

Tabla 15. <i>Medición 5. 01 de Octubre de 2016. Altura promedio 6.33 cms</i>	113
Tabla 16. <i>Medición 6. 08 de Octubre de 2016. Altura promedio 7.35 cms</i>	115
Tabla 17. <i>Medición 7. 15 de Octubre de 2016. Altura promedio 7.65 cms</i>	116
Tabla 18. <i>Medición 8. 22 de Octubre de 2016. Altura promedio 8.48 cms</i>	117
Tabla 19. <i>Medición 9. 29 de Octubre de 2016. Altura promedio 8.67 cms</i>	118
Tabla 20. <i>Medición 10. 05 de Noviembre de 2016. Altura promedio 8.81 cms</i>	119
Tabla 21. <i>Medición 11. 12 de Noviembre de 2016. Altura promedio 8.95 cms</i>	120
Tabla 22. <i>Medición 12. 19 de Noviembre de 2016.. Altura promedio 9.26 cms</i>	121
Tabla 23. <i>Medición 13. 26 de Noviembre 2016. Altura promedio 9.36 cms</i>	122
Tabla 24. <i>Medición 14. 03 de Diciembre 2016. Altura promedio 9.52 cms</i>	123
Tabla 25. <i>Medición 15. 10 de Diciembre de 2016. Altura promedio 10.2 cms</i>	124
Tabla 26. <i>Medición 16. 17 de Diciembre de 2016. Altura promedio 10.39 cms</i>	125
Tabla 27. <i>Medición 17. 24 de Diciembre de 2016. Altura promedio 10.61 cms</i>	126
Tabla 28. <i>Medición 18. 31 de Diciembre de 2016. Altura promedio 10.82 cms</i>	127
Tabla 29. <i>Medición 19. 07 de Enero de 2017. Altura promedio 10.98 cms</i>	128
Tabla 30. <i>Medición 20. 14 de Enero de 2017. Altura promedio 11.15 cms</i>	129
Tabla 31. <i>Medición 21. 21 de Enero de 2017. Altura promedio 11.98 cms</i>	130
Tabla 32. <i>Medición 22. 28 de Enero de 2017 Altura promedio 12.52 cms</i>	131
Tabla 33. <i>Medición 23. 04 de Febrero de 2017. Altura promedio 12.69 cms</i>	132
Tabla 34. <i>Medición 24. 11 de Febrero de 2017. Altura promedio 13.54 cms</i>	133
Tabla 35. <i>Medición 25. 18 de Febrero de 2017. Altura promedio 13.71 cms</i>	134
Tabla 36. <i>Medición 26. 25 de Febrero de 2017. Altura promedio 13.91cms</i>	135
Tabla 37. <i>Medición 27. 04 de Marzo de 2017. Altura promedio 14.26 cms</i>	136

Tabla 38. <i>Medición 28. 11 de Marzo de 2017. Altura promedio 14.46 cm</i>	137
Tabla 39. <i>Medición 29. 18 de Marzo de 2017. Altura promedio 14.53 cms</i>	138
Tabla 40. <i>Medición 30. 25 de Marzo 2017. Altura promedio 14.9 cms</i>	139
Tabla 41. <i>Medición 31. 01 de Abril de 2017. Altura promedio 15.15 cms</i>	140
Tabla 42. <i>Medición 32. 08 de Abril de 2017. Altura promedio 15.2 cms</i>	141
Tabla 43. <i>Medición 33. 15 de Abril de 2017. Altura promedio 15.24 cms</i>	142
Tabla 44. <i>Medición 34. 22 de Abril 2017. Altura promedio 15.39 cms</i>	143
Tabla 45. <i>Medición 35. 29 de Abril de 2017. Altura promedio 15.64 cms</i> Error! Bookmark not defined.	
Tabla 46. <i>Mediciones de crecimiento de <i>Centrosema macrocarpum</i> en promedio mensual.</i>	80
Tabla 47. <i>Numero de hojas en cada una de las mediciones.</i>	79

Lista de Figuras

Figura 1. Precipitación media anual en la estación meteorológica: 16055100 UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER. Perteneciente a la red nacional de monitoreo climático.....	22
Figura 2. Forma de establecimiento de las parcelas de estudio.	39
Figura 3. <i>Precipitación mensual de los años 2016 y 2017 de los meses influyentes en el proyecto según la estación meteorológica: 16055100 UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER. Perteneciente a la red nacional de monitoreo climático</i>	726
Figura 4. Consolidado de precipitación de los años 2016 y 2017 que influyen en el proyecto de investigación.	737
Figura 5. <i>Clasificación de coberturas del área de interés.</i>	748
Figura 6. <i>Ubicación geográfica de las parcelas de estudio.</i>	759
Figura 7. <i>Numero de hojas en cada una de las mediciones.</i>	80
Figura 8. <i>Desarrollo del número de hojas o desarrollo foliar de la parcela.</i>	81

Resumen

Este proyecto fue fundamentado a corto plazo en el mejoramiento de las condiciones ecológicas del sitio mediante la recuperación de la cobertura vegetal utilizando la especie *Centrosema macrocarpum* con la finalidad de recuperar la cobertura vegetal herbácea, propiedades ecológicas del suelo y a la vez frenar los procesos erosivos activos en el bs-PM-T bosque seco Pre montano Tropical donde se encuentra ubicada la universidad Francisco de Paula Santander, seccional Ocaña, en el área destinada a desarrollar un proyecto de conformación de jardín botánico, lo que permitió a largo plazo brindar un soporte apto para la restauración ecológica y mecanismos de conservación de la biodiversidad.

Se planteó como objetivo general, revegetalizar los suelos degradados destinados al proyecto jardín botánico en la Universidad Francisco de Paula Santander, Ocaña, mediante la implementación de coberturas vegetales con la especie herbácea *Centrosema macrocarpum*. Este proceso consistió en devolverle la cobertura vegetal a un suelo desnudo, con una o varias especies para interrumpir los procesos de intemperización (Dalmaso A, 2010)

Por su parte, los objetivos específicos propuestos en esta investigación y con los cuales se estructuró el objetivo general consistieron en la elaboración del diagnóstico inicial mediante análisis físicos (textura y tipo de erosión), químicos (elementos presentes en el suelo, pH), climatológicos (precipitaciones anuales y temperatura) y fotointerpretaciones (fotografías aéreas) del área de estudio; cuantificar la germinación (mediante la comprobación “ex situ” de las semillas sembradas y semillas germinadas en condiciones similares), siembra y evaluación del desarrollo de la especie *Centrosema macrocarpum*, en relación a su crecimiento y cobertura vegetal a través de indicadores de germinación, crecimiento y función de la especie herbácea; y,

evaluar la eficiencia mediante la comparación con una parcela control o labranza cero, que consistió en la siembra y se llevó a cabo sin ninguna preparación previa del suelo, es decir, sin roturarlo; este tipo de sistema se conoce también como siembra directa, y constituye actualmente uno de los pilares de la agricultura conservacionista y otra únicamente con labranza mínima bajo condiciones naturales e implica el laboreo anterior a la siembra, se provoca la aireación del suelo, pero hay menor inversión y mezclado de este.

A partir de los objetivos propuestos se realizó el diseño metodológico, el tipo de investigación que se tomó fue experimental que pretendía establecer relaciones de causa y efecto en el proceso (a corto plazo) de restauración ecológica el cual “es el proceso de asistir el restablecimiento de un ecosistema que ha sido degradado, dañado o destruido, hasta un estado en que se obtienen nuevamente las condiciones originales del mismo” (SER, 2004) bajo la conceptualización de la recuperación que consiste en restablecer algunos servicios ecosistémicos, sin embargo, estos no son auto sostenibles y no son similares al ecosistema pre disturbio (Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, 2015). Como resultado fundamental a la cabalidad del proyecto, se obtiene la revegetalización 4m² donde se realizó la siembra directa mediante la recuperación de la cobertura vegetal con la especie herbácea *Centrosema macrocarpum* y en las parcelas restantes de 8 m² no se evidenció vegetación significativa en el suelo destinado al proyecto jardín botánico en la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, a su vez el conocimiento científico mediante la aplicación de técnicas de preparación del suelo (labranza mínima) y siembra manual en condiciones naturales del bosque seco tropical bs-T.

Capítulo 1: Planteamiento del Problema

El Bosque Seco Tropical es uno de los ecosistemas que mayor riesgo presenta en cuanto a procesos de fragmentación y pérdida de biodiversidad (Instituto Alexander Von Humboldt, 1998). Por esta situación de vulnerabilidad ante el agotamiento en su estructura y composición se establece este pilar fundamental de la investigación a desarrollarse en esta área mediante la generación de estrategias de restauración ecológica en terrenos que actualmente se encuentran desprovistos de cobertura vegetal y con severos procesos erosivos. Según los lineamientos del plan nacional de restauración, fija sus esfuerzos en la ejecución del segundo objetivo de la restauración ecológica, la rehabilitación ecológica, este lleva al sistema degradado a un sistema similar o no al sistema previo al disturbio, éste debe ser autosostenible, preservar algunas especies y prestar algunos servicios ecosistémicos. En este caso es el control de la erosión mediante la recuperación de los agentes reguladores (vegetación), permitiendo devolver la cobertura vegetal del suelo, proporcionando ciertas propiedades ecológicas y edáficas; con el fin de disminuir el efecto borde que ocurre cuando dos hábitats naturales abruptamente diferentes se encuentran lado a lado en un ecosistema.

Se refiere a las interacciones que se producen entre dos ecosistemas lindantes, estos pueden generar respuestas desfavorables en las especies tanto faunísticas como florísticas que ante las irregulares condiciones que se pueden presentar ya que estas pueden no estar adaptadas a las nuevas condiciones, aumentando así el área de un ecosistema y la reducción de otro más frágil (Harvey C. et al, 2007); Los factores que pueden llevar a un ecosistema a sobreponerse a otro pueden ser de diferente índole – abióticos, biológicos directos e indirectos como, resultado de la interacción de dos ecosistemas adyacentes. (Murcia, 1995)

Se plantea como pregunta de investigación si: ¿Si es conveniente iniciar una recuperación de la cobertura vegetal y propiedades ecológicas de los suelos degradados del bosque seco tropical mediante el uso de la especie herbácea *Centrosema macrocarpum* en áreas destinadas al proyecto jardín botánico de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, Colombia?.

La presente investigación se desarrolló por medio de un proceso para definir una prueba piloto de recuperación de coberturas vegetales en un área de 4 m² incluidos en 12 m² específicamente que refiere a la demostración en parcela control, labranza mínima sin siembra directa y aplicación de técnicas de labranza mínima y siembra directa respectivamente con la especie herbácea *Centrosema macrocarpum*, con la finalidad primordial de revegetalizar los suelos desprovistos y recobrar posiblemente algunas propiedades ecológicas, además frenar el deterioro progresivo por el efecto borde e intemperización presente en el bosque seco tropical; causado por el sometimiento del suelo a condiciones extremas de variabilidad climática por la excesiva actividad antrópica que remonta a hechos de sobreexplotación agrícola, a través de los años sin ningún control, ni principios de conservación de los recursos naturales; por medio de la implementación de técnicas para la recuperación de cobertura vegetal herbácea que a largo plazo permitirá el desarrollo de las etapas de rehabilitación y restauración ecológica con el objetivo de recobrar la composición, estructura y función de dicho ecosistema, tal como se propone en el manual para el monitoreo a procesos de restauración ecológica aplicado a ecosistemas terrestres para Colombia. (Ramirez A, 2015)

A nivel del municipio de Ocaña, uno de los sitios que resalta por la presencia de bosque seco, es la Universidad Francisco de Paula Santander, donde se puede evidenciar la pérdida de

este ecosistema y efecto de borde marcado por los procesos erosivos en grandes áreas de terreno que ha generado la conformación de relictos producto de la fragmentación del ecosistema presente. Es por ello que ésta investigación, se enmarcó dentro del contexto de recuperación de cobertura vegetal en suelos erosionados presentes en las áreas rurales de la Universidad Francisco de Paula Santander, que buscó dar solución a los problemas que pueden tener un área disturbada.

Capítulo 2: Justificación

El suelo es uno de los recursos naturales más valiosos con que cuenta un país para su desarrollo económico y social de sus características y adecuadas prácticas de manejo, depende básicamente el desarrollo agropecuario de una región y por esto se hace fundamental la conservación y el cuidado del mismo (PROCIANDINO, 1995). En Colombia, se caracterizan por ser muy diversos, pero frágiles; en su generación y modificación intervienen estructuras y procesos climáticos, geológicos y ecológicos del territorio, y su estado depende, además, de los procesos sociales, económicos, técnicos y políticos a que están sometidos. En la actualidad aproximadamente 49 millones de hectáreas de la superficie del territorio (equivalente al 48 % del país), presenta procesos de desertificación, es decir, de erosión del suelo. (Navas Ríos & Barragán Pacheco, 2002)

Con este proyecto, se pretende continuar con metas a mediano y largo plazo referente a la restauración ecológica del área de interés que permitan adelantar la conformación de un jardín botánico que proteja las características del bosque seco en Colombia en sentido de entregarle a la Universidad una solución práctica que mitigue la problemática de suelos erosionados y la disminución de características biológicas en la zona de interés ambiental y científico a nivel local y nacional. (Navas, Manejo y conservacion de suelos en Colombia, 1995)

Aunque existen procesos naturales que intervienen en el proceso de erosión, son las actividades humanas las que repercuten en mayor grado en la degradación de los mismos. De acuerdo a la Política Nacional para la Gestión Integral Ambiental del Suelo (REPÚBLICA DE COLOMBIA MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE, s.f.), las presiones y puntos de estrés ambiental son: Expansión urbana en áreas rurales, uso de productos químicos (orgánicos e inorgánicos) en actividades económicas, deforestación e incendios, labranza convencional (intensiva) del suelo, tránsito de maquinaria y animales, riego intensivo, cobertura, precipitación, pendiente y otros factores de fragilidad del suelo. Este deterioro lleva, poco a poco, a la exposición del suelo a procesos de intemperización, en el que directamente es afectado, en forma dinámica, por las condiciones medio ambientales y biofísicas de la zona. Como consecuencia, existe afectación tanto en el medio ambiente como para la Universidad Francisco de Paula Santander que pretende incluirse a la Red Nacional de Jardines Botánicos de Colombia.

Debido a la importancia del recurso suelo, es fundamental propender por el desarrollo de programas de restauración de áreas degradadas, mediante estudios que permitan reconocer el efecto de la vegetación en condiciones naturales o antrópicas, con la finalidad de controlar la erosión y contribuir con la recuperación de bosques en Colombia. Desde el punto de vista económico, estos entregan grandes beneficios a la sociedad, que se traducen en una amplia gama de bienes y servicios (Vargas F. , 2004); desde este punto de vista ecológico, la restauración puede entenderse desde tres formas de acción, que son la recuperación, rehabilitación y restauración ecológica. Estos objetivos o formas de acción dependen a su vez de tres variables de

acuerdo a lo establecido en el Plan Nacional de Restauración del año 2012: tipo de intervención, nivel de degradación del área y objetivo de restauración.

La Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña se caracteriza por poseer, dentro de su terreno, una zona de vida calificada como (bs-PM-T) bosque seco pre montano tropical según Holdridge. Es por esto, la finalidad de contar con espacios de conservación y preservación que garantice la perpetuación de las condiciones ecológicas, sin embargo el estado de deterioro de esta área ya mencionada no permite que las iniciativas avancen, una alternativa considerada es incluirse en la red nacional de jardines botánicos de Colombia, pero los esfuerzos serían inútiles sino se comienza por reconocer lo que existe y más aún por contrarrestar los problemas presentes en la zona, que subestima los atributos ecológicos como es el grado de erosión presente y la cantidad de terreno sometido a procesos climáticos directos que día a día conlleva al declive de la trayectoria ecológica del sitio y por ende de la región. En el país, los ecosistemas de bosque seco, se encuentran altamente amenazados, representados en tan solo el 2% del territorio. (Guevara, 2003) Este bioma se constituye en remanente de vegetación, debido a diferentes presiones a las que se ven sometidos: la deforestación que realizan las familias campesinas colindantes con la Universidad que, para su sustento desarrollan actividades de agricultura y ganadería, éste último ha causado compactación y pérdida de cobertura vegetal, que genera un gran deterioro erosivo visible. Se presentan en el área de estudio los tres procesos erosivos: laminar, por surcos, y cárcavas creando un efecto borde dentro del ecosistema, fragmentándolo en remanentes y relictos a nivel local, que pone en peligro las especies de flora y fauna nativas del lugar. Por ello, se hace necesario emprender medidas correctivas a corto plazo que permitan minimizar y controlar el proceso erosivo y continuar con investigaciones de restauración

ecológica. Se plantea iniciar un proceso de investigación aplicada en campo que aporte a la solución de la problemática ambiental de la región. El desarrollo de esta vegetación, ofrecerá la protección física al suelo ante los factores ambientales a los que está expuesto.

La relevancia de este proyecto, se encuentra definida a partir de la necesidad a nivel nacional, de recuperar el bosque seco tropical, el cual se encuentra amenazado y en vía de extinción (Ramos, 2009), actualmente está priorizado como ecosistema estratégico, que por su extensión se ha reducido drásticamente y con ello se está perdiendo biodiversidad en la región andina, principalmente en el municipio de Ocaña, zona en la que se considera con condiciones y especies endémicas de alto valor de conservación. Como todos los ecosistemas, este, también es esencial para que el bosque pueda seguir provisionando de bienes y servicios a las comunidades que conviven y aprovisionan de este tipo de bosque. En Norte de Santander son muy pocos los municipios que poseen remanentes de bosque seco tropical, encontrándose a Ocaña y Convención dentro de este importante grupo (Humbolt, 2014).

Capítulo 3: Objetivos

3.1 Objetivo general

Recuperar la cobertura vegetal y propiedades ecológicas de los suelos degradados destinados al proyecto jardín botánico en la Universidad Francisco de Paula Santander, seccional Ocaña, mediante el uso de la especie herbácea *Centrosema macrocarpum*.

3.2 Objetivos específicos

Elaborar el diagnóstico inicial mediante análisis físicos (textura y tipo de erosión), químicos (elementos presentes en el suelo, pH), climatológicos (precipitaciones anuales y temperatura) y fotointerpretaciones (fotografías aéreas) del área de estudio.

Cuantificar la germinación (mediante la comprobación “ex situ” de las semillas sembradas y semillas germinadas en condiciones similares), desarrollo de la especie *Centrosema macrocarpum*, en relación a su crecimiento y cobertura vegetal a través de indicadores de germinación, crecimiento y función de la especie herbácea seleccionada.

Evaluar la eficiencia y rendimiento de técnicas ambientales, mediante la comparación con una parcela control, labranza mínima en condiciones naturales.

Capítulo 4: Marco referencial

4.1. Marco teórico

El bosque seco tropical (bs-T) es propio en tierras bajas y se caracteriza por presentar una fuerte estacionalidad de lluvias. Es considerado en la actualidad como uno de los ecosistemas más amenazados en el trópico (Janzen, 1988). Esto se debe a que las poblaciones se concentran en territorios del bosque por sus suelos fértiles y condiciones ambientales y climáticas propicias para el desarrollo de los asentamientos. El desconocimiento de las personas sobre el cuidado de los recursos naturales también ha contribuido a que la normativa ambiental sea permisiva en la explotación de los bienes y servicios ecosistémicos a gran escala y de forma ilegal sin sanciones y sin planes de restauración que garanticen devolver las condiciones naturales y equilibrio ecosistémico. En Colombia, por ejemplo, se encuentra el bs-T en seis regiones: el Caribe, los valles interandinos de los ríos Cauca y Magdalena, la región norandina en Santander y Norte de Santander, el valle del Patía, Arauca y en los llanos del Vichada. Originalmente este ecosistema cubría más de 9 millones de hectáreas, de las cuales quedan en la actualidad apenas un 8% y solo el 0.4% de lo que había está presente en el sistema nacional de áreas protegidas (SINAP), pero más preocupante es que el 65% de las áreas deforestadas de bs-T presentan desertificación. (Humbolt, 2014)

Los bosques secos se ubican dentro de un rango de precipitación variable que va desde los 250 a 2.000 mm de agua anuales, y estas isoyetas están flanqueadas por sitios más húmedos en muchos casos y más secos hasta áridos en otros. Para el municipio de Ocaña se ha registrado en el último año una precipitación promedio de 807,7 mm, marcada por una larga época de sequía situada temporalmente en el año 2015. Dicha información, fue obtenida gracias al

monitoreo climático que realiza la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña en una de sus estaciones meteorológicas, se muestra a continuación entonces la tabla correspondiente:

Tabla 1.

Registros climáticos red de monitoreo UFPSO.

Septiembre 2015 - Septiembre 2016	Alta	Baja	Promedio
Temperatura °C	33,1	14,1	21,8
Punto de rocío °C	24,4	9,5	17,5
Humedad %	98	29	78
Precipitación mm	****	****	807,7

Fuente: Autor del proyecto

El comportamiento o variación de las precipitaciones a través del tiempo es una variable de gran significancia en el desarrollo del presente trabajo, los procesos erosivos establecidos en el área de estudio son influenciados principalmente por el régimen de precipitaciones bimodal de la región, cabe mencionar que este régimen altamente marcado por dos periodos de altas lluvias presenta precipitaciones de altas magnitudes o torrenciales que generan mayor impacto en los suelos desprovistos de vegetación.

Tabla 2.

Precipitación media anual en la estación meteorológica: 16055100 UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER. Perteneciente a la red nacional de monitoreo climático.

Año	pp anual (mm)	Año	pp anual (mm)
1992	714	2004	904,9
1993	681,7	2005	1037,6
1994	1237,7	2006	1183,5
1995	1290,9	2007	1143,4
1996	1148,4	2008	1076,6
1997	622,5	2009	783,8
1998	1084,8	2010	1492,3
1999	N/R	2011	1165,2
2000	997,5	2012	936,6
2001	722,8	2013	N/R
2002	682,5	2014	1129,7
2003	1202,3	2015	703

Fuente: Autor del proyecto construida a partir de datos obtenidos del IDEAM, 1992-2015

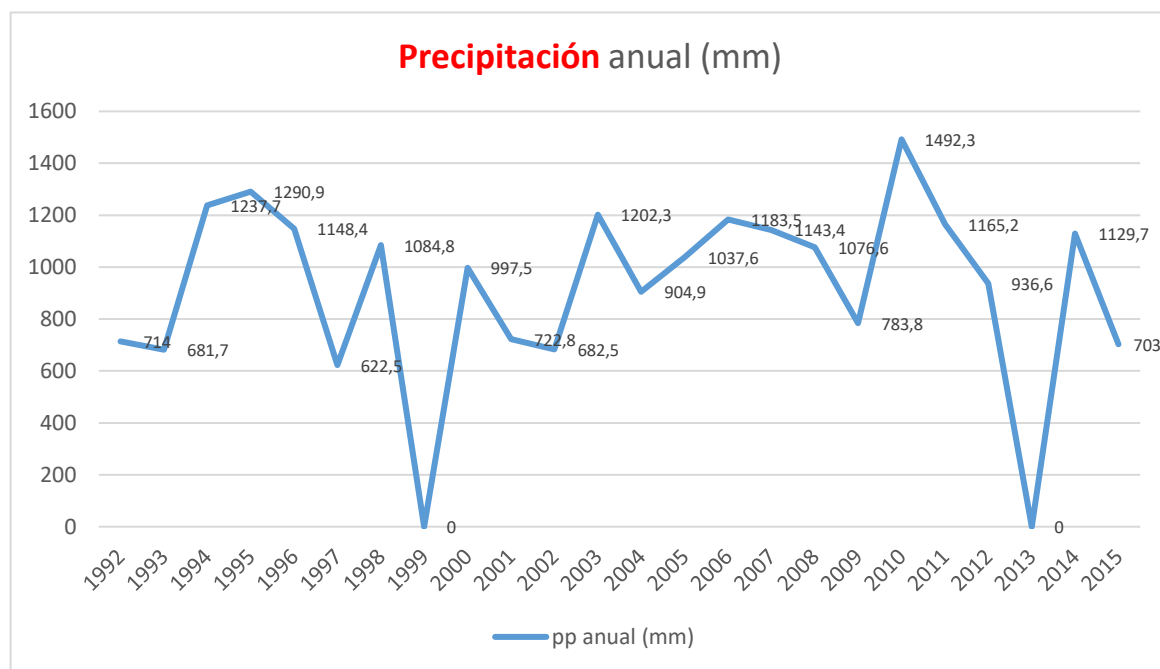


Figura 1. ***Precipitación media anual en la estación meteorológica: 16055100***
UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER. Perteneciente a la red nacional de
monitoreo climático.

Fuente: Autor del proyecto

Estos registros nos permiten reconocer la escasez de lluvias en la variabilidad climática del bosque seco tropical donde se realiza el proyecto definiendo mínimas precipitaciones en el año 1997 con 622,5 mm y máximas en el año 2010 con 1492,3 mm, lo que refleja una baja disponibilidad de lluvias para el desarrollo de actividades de restauración en las primeras fases de desarrollo mientras su proceso de adaptación.

La ubicación de los relictos de bosque seco en Colombia está fuertemente asociada a las depresiones interandinas que se esbozan desde el mioceno medio-plioceno o fase eu-andina de la orogenia. Posteriormente se formaron lo que se conoce hoy en día como los valles del

Magdalena, Cauca-Patía, Cesar, y Atrato, con su llanura aluvial controlada estructuralmente. (Humbolt, 2014)

Desde el punto de vista edáfico, el limitante principal para la existencia de bosque seco es la acidez y la baja fertilidad, además de la presencia de corazas lateríticas que impiden la penetración de las raíces, ya que muchas especies características de este tipo de bosque, como las leguminosas tienen sistemas radiculares que profundizan en lugar de extenderse en la superficie (Instituto Alexander Von Humboldt, 1998).

Se estima que quedan un poco más un millón de kilómetros cuadrados de **bosque seco tropical** (bs-T) a nivel mundial, con más de la mitad (54,2%) en Sur América (Arcila, 2006). Recientes evaluaciones muestran una tendencia continua de transformación del bosque seco a nivel global, donde la conversión en zonas agrícolas es la principal causa de reducción del área y de la fragmentación (Arcila, 2006). En Colombia se desconoce la distribución original del bosque seco, pero se estima una cobertura potencial de 80.000 km², de los cuáles solo quedan cerca del 1,5%. De las tres zonas del país que presentan bosque seco: llanura del Caribe, valle del río Magdalena y valle del río Cauca, esta última es la de menor extensión y mayor vulnerabilidad (Etter, 1993).

El nivel de conocimiento del **Bosque Seco Tropical** en Colombia es deficiente, puesto que son escasos los lugares donde existen inventarios completos. La información existente es fragmentada y el conocimiento de la historia natural y dinámica del bosque es poco (Humbolt, 2014) Incluso, en el mundo, existen de 4 a 5 veces más estudios reportados en la literatura de procesos de restauración en bosque húmedo tropical que en bosque seco.

Independiente de una definición específica, la característica más típica del bosque seco tropical es la estacionalidad marcada de lluvias que incluye varios meses de sequía (precipitación menor a 100 mm de agua al año) (Gentry, 1995). Dicha estacionalidad limita la productividad primaria y la biodiversidad de flora, las cuales son menos altas en este bioma que en otros bosques tropicales más húmedos (Pennington, 2000).

La vegetación ha sido lo más estudiado en los bosques secos de diferentes regiones de Colombia. La composición florística del bs-T en Colombia puede variar significativamente en las diferentes regiones donde se encuentra este bosque: la región Caribe, la región norandina que comprende Santander y Norte de Santander, los valles interandinos de los ríos Cauca y el Magdalena, el Patía (Nariño y Cauca), y los Llanos (Arauca, Casanare, Meta y Vichada). (Humbolt, 2014)

En total hay 116 especies (4.5%) de bs-T clasificadas bajo alguna categoría de amenaza según los libros rojos y las listas rojas de plantas para Colombia. Así mismo, 83 especies de bosque seco de 36 familias son endémicas para Colombia. De acuerdo a tres ejercicios de priorización de especies vegetales de bs-T de Colombia dentro de la Estrategia Nacional de Conservación de Plantas (ENCP), hay 91 especies de este bioma que son importantes y prioritarias para la conservación. (Humbolt, 2014)

Las herbáceas de las familias Araceae, Zingiberaceae, Costaceae y algunas Poaceae constituyen parte importante del sotobosque de algunos bosques secos, así como las hemiepipítas (Araceae) y otros tipos de vegetación típicos de los sitios de mayor humedad. Estas especies deberían ser incluidas mediante siembra sexual en la restauración porque además de ser fáciles de propagar vegetativamente, tienen altas tasas de crecimiento y algunas de ellas son capaces de

mantenerse a pesar de la degradación del bosque. Más aún, muchas proveen recursos como alimento y lugares para la anidación y ovoposición de mamíferos, aves, insectos y anfibios.

(Humbolt, 2014)

En la región norandina los bosques secos están en la zona norte de la cordillera Oriental en las inmediaciones de Cúcuta, los valles de Convención y Ocaña y el valle medio del río Chicamocha (Valencia, 2012). Los bosques secos registrados para el departamento de Norte de Santander han sido poco explorados y la información existente se restringe a documentos inéditos (Carrillo, 2012).

En esta zona, el único proceso de restauración ecológica de bosque seco, se empezó a ejecutar en el Área Única Los Estoraques. En el año 2010 se programó la implementación del proyecto “Restauración ecológica en áreas de bosque seco degradado”, en el predio Platanillo, vereda La Tenería, del AU Los Estoraques, el cual contó con recursos de financiación del Fondo Nacional de Regalías – FNR.

El objetivo general del proyecto fue recuperar la cobertura vegetal y reducir el proceso de degradación en 50 ha de bosque seco, a través de la realización de acciones de restauración ecológica. Hoobs y Norton (Hobbs, 1996) en su libro, plantean que el proceso de la restauración ecológica cuenta con cinco fases claves. La primera es la identificación y tratamiento de las causas responsables de la degradación del ecosistema, en la segunda se definen en forma realista los objetivos y sus formas de evaluación, en la tercera se formulan las metodologías que aplicadas permitan el alcance de los objetivos, la cuarta consiste en la incorporación de las metodologías desarrolladas en las prácticas de manejo ecosistémico y la última se encarga de la evaluación, seguimiento y monitoreo del curso de la restauración. Establecidas ya las causas de

la degradación y evidenciando como responsable a la erosión en distintos grados, formas y mecanismos, se establecieron entonces las distintas actividades a realizar conforme a la caracterización del sitio sin embargo, este proyecto no contempló la realización de una caracterización detallada de la diversidad de plantas asociada a la zona de restauración (Pineda M., 2014).

En los trópicos, la forma de erosión más común es la erosión hídrica causada por la acción de las gotas de lluvia sobre un terreno desnudo. (Garcia A. , 2011) La degradación del suelo se debe principalmente a una de las siguientes formas: compactación, erosión, pérdida de la micro y macro fauna, pérdida de nutrientes, acidificación y salinización. Un análisis de suelo es una herramienta que describe la disponibilidad de nutrientes presentes y el potencial de absorción de las plantas sobre los mismos. La disponibilidad de nutrientes depende de los procesos físicos, químicos y microbiológicos que se llevan a cabo en el suelo (Espinoza L. , 2016).

Actualmente se divulga un nuevo mapa de erosión en todo el territorio colombiano, en donde alrededor de 47 millones de hectáreas reportan algún grado de erosión, lo que representa cerca del 40% del territorio continental de Colombia, lo cual se puede evidenciar en el mapa de degradación de suelos por erosión a escala 1:100.000, en donde para el departamento de Norte de Santander el grado de erosión es del 6%, y para el caso del municipio de Ocaña, se reporta un 42% de desertificación en todo su territorio municipal, del cual 13,4% es de alto grado.

En procesos de regeneración del ecosistema natural, se debe tener en cuenta la capacidad de resiliencia del mismo, ya que si esta es inferior a la intensidad del disturbio que lo afectó, se debe realizar una restauración asistida. (Fajardo, 2013)

Por último, es importante resaltar las razones principales por las que el bs-T debe ser restaurado es por los bienes y servicios ecosistémicos que éste ofrece. Campesinos y comunidades locales reconocen que el bs-T provee leña, frutos, plantas medicinales, maderas finas, animales para consumo, ciclado de nutrientes y regulación del clima y del ciclo hidrológico.

A pesar de esto es preocupante que la mayoría de las comunidades locales no perciban primordialmente la conservación y la recuperación de cobertura vegetal herbácea como una estrategia necesaria para la restauración en Colombia. (Oliveira, 2009)

Análisis de crecimiento es una aproximación cuantitativa para entender el crecimiento de una planta o de una población de plantas bajo condiciones ambientales naturales o controladas (Clavijo, 1989). El análisis de crecimiento ha sido usado ampliamente para el estudio de los factores que influyen el desarrollo de la planta y el rendimiento, a través del seguimiento de la acumulación de materia seca durante el tiempo (Gardner et al., 1985). El análisis de crecimiento ha sido practicado de dos maneras distintas, la primera denominada análisis clásico, contempla medidas hechas a intervalos relativamente largos de tiempo usando un gran número de plantas; la segunda denominada análisis funcional, comprende medidas a intervalos de tiempo más frecuentes con un pequeño número de plantas y usa el método de regresión (Hunt, 1978) (Santos Castellanos, Segura Abril, & Núñez López, 2010)

4.2. Marco legal

A continuación (Tabla 2) se presentan los principales decretos y leyes considerados relevantes para la ejecución de proyectos relacionados con la recuperación y restauración de bosques y áreas objetos de conservación.

Tabla 3.

Marco legal sobre restauración y recuperación de suelos según la legislación vigente en Colombia.

Marco legal	
Norma	Comentario
Ley 2 de 1959	"Sobre economía forestal de la Nación y conservación de recursos naturales renovables".
Ley 23 de 1973	Artículo 1. "Es objeto de la presente ley prevenir y controlar la contaminación del medio ambiente y buscar el mejoramiento, conservación y restauración de los recursos naturales renovables (...)".
Decreto 2811 de 1974	Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. Artículo 2, Fundando en el principio de que el ambiente es patrimonio común de la humanidad y necesario para la supervivencia y el desarrollo económico y social de los pueblos, este código tiene por objeto: 1. Lograr la preservación y restauración del ambiente y la conservación, mejoramiento y utilización racional de los recursos naturales renovables, según criterios de equidad que aseguran el desarrollo armónico del hombre y de dichos recursos, la disponibilidad permanente de estos, y la máxima participación social

Marco legal	
Norma	Comentario
	para beneficio de la salud y el bienestar de los presentes y futuros habitantes del territorio nacional (...). "Artículo 13, "Con el objeto de fomentar la conservación, mejoramiento y restauración del ambiente y de los recursos naturales renovables, el gobierno establecerá incentivos económicos". "Artículo 179, En la utilización de suelos se aplicarán normas técnicas de manejo para evitar su pérdida o degradación, lograr su recuperación y asegurar su conservación. "Artículo 182. Estarán sujetos a adecuación y restauración los suelos que se encuentren en alguna de las siguientes circunstancias: a) Inexplotación sí, es especiales condiciones de manejo, se pueden poner en utilización económica; b) Aplicación inadecuada que interfiera la estabilidad del ambiente; c) Sujeción a limitaciones físico-químicas o biológicas que afecten la productividad del suelo; d) Explotación inadecuada". "Artículo 183. Los proyectos de adecuación o restauración de suelos deberán fundamentarse en estudios técnicos de los cuales se induzca que no hay deterioro para los ecosistemas. Dichos proyectos requerirán aprobación".
Ley 99 de 1993	"Por el cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el sistema nacional ambiental SINA se dictan otras disposiciones". Artículo 1. Principios generales ambientales: la política ambiental colombiana seguirá los siguientes principios generales: (...) 7. El estado fomentará la incorporación de los costos ambientales y el uso de instrumentos económicos para la prevención, corrección y restauración del deterioro ambiental y para la conservación de los recursos naturales renovables". Artículo 44. Porcentaje ambiental de los gravámenes a la propiedad

Marco legal	
Norma	Comentario
	inmueble. "(...) Las Corporaciones Autónomas Regionales destinarán recursos de que trata el presente artículo a la ejecución de programas y proyectos de protección o restauración del medio ambiente y los recursos naturales renovables, de acuerdo con los planes de desarrollo de los municipios del área de su jurisdicción (...)".
Ley 165 de 1994	"Por medio de la cual se aprueba el "Convenio sobre la Diversidad Biológica", hecho en Río de Janeiro el 5 de junio de 1992". Artículo 8. Conservación In Situ. Cada parte contratante, en la medida de lo posible y según proceda: (...) f. rehabilitará y restaurará ecosistemas degradados y promoverá la recuperación de especies amenazadas, entre otras cosas mediante la elaboración y la aplicación de planes y otras estrategias de ordenación.
Ley 299 de 1996	Protege la flora colombiana y reglamentan los jardines botánicos y se dictan otras disposiciones. Los jardines botánicos tienen entre sus objetivos primordiales contribuir a que la utilización de las especies de la flora y de los ecosistemas naturales se efectúe de tal manera que permita el uso y disfrute no solo para las actuales sino también para las futuras generaciones de habitantes del territorio colombiano, dentro del concepto del desarrollo sostenible.

Fuente: Autor del proyecto

4.3. Estado del arte

El estado del arte presenta la recopilación de trabajos importantes realizados en materia de revegetalización de suelos degradados y prácticas de conservación de suelos, informes o

artículos técnicos-científicos, experiencias de técnicas apropiadas para la conservación y recuperación de suelos en predios de pequeños productores (Carrasco, 2003).

Propuestas por los ingenieros agrónomos Jorge Carrasco y Jorge Vergara para el Centro Regional de Investigación Rayentué (INIA), de Santiago de Chile, obedecen a un conjunto de diversos casos particulares de manejo, que tienen características complejas propias del terreno y de la condición climática de la zona, para esto al momento de aplicar cualquier técnica de conservación de suelos deben considerarse elementos fundamentales, como son: conservar al agricultor o productor como pieza clave y colaborador en los procesos de restauración, analizar la relación costo/eficacia entre las diversas alternativas o técnicas de control de erosión y controlar las escorrentías ya que estas se representan la causa más común de erosión. Uno de los objetivos planteados por los ingenieros es la de proporcionar los conceptos fundamentales que definen la degradación de los suelos y la erosión, como los fundamentos de las diferentes tareas y operaciones que se proponen para la conservación de los suelos agrícolas de pequeños productores.

Tareas y operaciones con el fin de evitar la erosión, para la cual proponen prácticas de conservación de suelos como es la de crear cobertura vegetal del suelo, mejorar la penetración del agua, reducir el escurrimiento del agua sobre el suelo, y construir obras para la conservación de suelo y agua, para ésta última, se identifican alternativas como la construcción de barreras vivas, zanjales de infiltración, pircas protegidas con árboles y arbustos, terrazas, andenes y la recuperación de cárcavas menores.

Las sabanas de *Trachypogon* venezolanas son usadas principalmente para ganadería extensiva, pero su producción de biomasa está limitada por la baja fertilidad de los suelos. Para

evaluar el cambio en las propiedades químicas del suelo por la introducción de pasturas mejoradas, Zenaida Lozano y Carmen Rivero de la Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela, Álvaro Mogollón, representante del Instituto Nacional de Tierras (INTI). Caracas, Venezuela, Rosa Mary Hernández, Carlos Bravo y Adriana Ojeda del Centro de Agroecología Tropical, Alexis Torres de Petroquímica de Venezuela y Marcia Toro del Instituto de Zoología Tropical realizaron evaluaciones en un suelo Typic Plinthustults ubicado en las sabanas del estado Guárico (Lozano, 2010). Se usaron las especies de cobertura *Brachiaria dictyoneura* (BD) y *Centrosema macrocarpum* (CM), los cuales fueron comparados con la vegetación de la sabana natural (SN). En dicho estudio se concluyó que algunas propiedades se ven favorecidas cuando el cultivo de cobertura es gramínea y otras cuando es leguminosa.

La cobertura *Centrosema macrocarpum* favoreció la acumulación de CO en el primer horizonte e indujo una considerable reducción del pH. En los tratamientos de *Centrosema macrocarpum* también se favoreció el aumento de CO en la capa de 5 a 15 cm.

La cobertura con *Centrosema macrocarpum* aumentó los niveles de nitrógeno en el suelo en formas de amonio y nitrato, la forma de nitrato fue la que más se elevó. La CIC resultó ser un parámetro importante en la medición del efecto producido por las coberturas introducidas. La disminución del pH, y el aumento del CO en todos los tratamientos, llevó a una reducción de este parámetro en relación a los valores iniciales, más evidente en *Centrosema macrocarpum* a nivel superficial. Además los niveles de Fosforo aumentaron notablemente.

En el congreso internacional de pastizales de Kyoto 1985 (Schultze, 1985), se describe una especie de *Centrosema* poco conocida hasta ese momento, en términos de su morfología, distribución natural y potencial como planta forrajera. *Centrosema macrocarpum* se destacan

cualidades especiales como su distribución natural la cual cubre un amplio rango de latitudes y condiciones climáticas y edáficas de América tropical. Algunos ecotipos de sitios de colección al norte del Ecuador demostraron que la especie parece estar bien adaptados a suelos ácidos. En un ensayo de corte en parcelas pequeñas conducido en Colombia en un Ultisol ácido (ph 4.1 y 89 por ciento de saturación de Al). La calidad del forraje se comparó favorablemente con la de *Centrosema pubescens* comercial Australiano. Además del crecimiento vigoroso en suelos ácidos de baja fertilidad natural, otros atributos sobresalientes de *C. macrocarpum* son: la tolerancia a enfermedades y al estrés por sequía.

Las limitaciones para su utilización incluyen un hábito de floración marcadamente estacional, y particularmente, un insuficiente desarrollo de estolones.

Colombia, ha trabajado en pro de la recuperación de suelos degradados mediante estrategias de restablecimiento de áreas boscosas, así lo constatan los resultados expuestos en el artículo, “aumento de la cobertura boscosa en el Departamento del Valle del Cauca” (Rodriguez, 2013). En consideración a la acelerada y progresiva degradación, deterioro, fragmentación y destrucción de la cobertura boscosa del Valle del Cauca, mediante la Corporación Autónoma del Valle del Cauca –CVC- se fomentan programas y proyectos de reforestación en el entorno de las cuencas hidrográficas, del departamento. Bajo este contexto implementan diferentes actividades, como son: reforestaciones bajo diferentes arreglos forestales, construcción de obras biomecánicas, entre otros; y se ha logrado aumentar la vegetalización en más de 5.000 hectáreas anuales, compatibles con las actividades productivas que se realizan en las partes altas y medias de las cuencas. Como beneficios ambientales de estas intervenciones realizadas por CVC, se

tiene el aumento de cobertura boscosa, protección y aumento de caudales de fuentes hídricas, fauna y flora asociada y disminución de erosión en los suelos.

“El Instituto de Investigación de Recursos Biológicos “Alexander von Humboldt” (IAvH), en colaboración con el Ministerio de Ambiente y las demás entidades del Sistema Nacional Ambiental (SINA), han venido apoyando la implementación de la Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos (PNGIBSE), cuyo objeto es “propender por la conservación, el conocimiento y el uso sostenible de la biodiversidad, así como, la distribución justa y equitativa de los beneficios derivados de la utilización de los conocimientos, innovaciones y prácticas asociadas a ella, por parte de la comunidad científica, la industria y las comunidades locales” (Instituto Alexander Von Humboldt, 1998).

En 1998, el Ministerio de medio ambiente como director General de Ecosistemas junto con algunas instituciones u organizaciones, mediante el Plan Estratégico para la Restauración Ecológica y el Establecimiento De Bosques en Colombia conocido como “Plan Verde” indica que “Una alternativa distinta a la reforestación protectora para la conservación de la biodiversidad y el manejo sostenible de los recursos naturales es la restauración ecológica donde sea factible” (Fonseca, 2010).

En el 2015 el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible presenta a la sociedad colombiana un instrumento de implementación de la Política Pública Ambiental, en especial de la Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos (PNGIBSE) y de la Política Forestal (Plan Nacional de Desarrollo Forestal), que facilitará a los diferentes actores sectoriales elementos conceptuales y técnicos para abordar los procesos de

restauración de ecosistemas naturales degradados, llamado Plan Nacional de Restauración, Restauración ecológica, rehabilitación y recuperación de áreas disturbadas. (Ospina, 2015)

Capítulo 5: Diseño metodológico

La metodología propuesta para la recuperación de la cobertura vegetal en los suelos degradados destinados al proyecto jardín botánico que adelanta la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña mediante la revegetalización con la especie herbácea *Centrosema macrocarpum*; Se utilizó esta especie caracterizada en el bsT para revegetalizar los suelos por el Instituto de Investigaciones de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt, en su libro “El bosque seco tropical en Colombia” (Alexander Von Humboldt, 2014) , editado por Camila Pizano y Hernando García, por sus propiedades de resistencia ante suelos ácidos, escasez de agua, resistencia a los procesos de intemperización característicos del área de estudio, también presenta gran resistencia en cuanto a plagas y tiene un gran desarrollo en cuanto al florecimiento y producción de semillas (Centrosema., 1997). Se requirió de un diseño de muestreo que permitió verificar el desempeño de las técnicas de restauración a corto plazo; entendiéndose como el control de erosión mediante la revegetalización (Vargas O. , 2015) proceso mediante el cual las plantas colonizan un área de la cual ha sido removida su cobertura vegetal original por efecto de uno o varios disturbios, con especies herbáceas específicas y las subsiguientes acciones de manejo que se requieran si tales metas no se están alcanzando (SER, 2004)

Este proyecto comprende una serie de actividades y acciones características de una investigación aplicada: las metas estipuladas en un rango de tiempo; y el monitoreo que permitió evaluar, por un lado, cuánto ha cambiado en la dirección esperada hacia un estado ideal y que tan cerca está de ese estado (Ferraro, 2005).

Esto con el fin de conocer a fondo el resultado de cada una de las actividades y acciones propuestas; como lo sugiere el Plan Nacional de Restauración, mediante el monitoreo a procesos de restauración ecológica aplicado a ecosistemas terrestres.

Se realizaron 8 mediciones o conteos del número de hojas, una vez cada mes por 8 meses a la muestra seleccionada para las mediciones de crecimiento.

En la tabla 3, se muestra cada una de las actividades y acciones que se llevarán a cabo en la ejecución del proyecto.

Tabla 3.

Procedimiento metodológico por fases actividades y acciones.

Fase	Actividades	Acciones
Diagnóstico Inicial	Reconocimiento, Diagnóstico fisicoquímico y establecimiento de parcelas.	• Delimitación de las parcelas  Parcela 1 (Labranza y siembra)  Parcela 2 (Labranza)  Parcela de control.
		• Identificación del tipo, grado y clase de erosión. • Toma de muestras (Para análisis físico-químico) del suelo. • Determinación de concentraciones de minerales, pH y materia orgánica • Determinación de la Profundidad efectiva de labranza.

Fase	Actividades	Acciones
Inclusión de la especie Centrosema macrocarpum	Diagnóstico climatológico	- Solicitud de registros de precipitación ante el IDEAM - Consulta de temperatura media anual en la base de datos meteorológica de la UFPSO
	Fotointerpretación y clasificación de coberturas	- Localización geográfica del área de estudio. - Georeferenciación e identificación de coberturas.
	Preparación del terreno	- Manejo hidráulico superficial del área - Labranza - Control de plagas
	Siembra	Fijación de semilla al suelo <i>Centrosema macrocarpum</i>
	Cuantificar la germinación y Seguimiento y monitoreo. Análisis del desarrollo.	- comprobación “ex situ” del porcentaje de germinación - Tasa de crecimiento - Índice de área foliar

Fuente: Autor del proyecto

Para el análisis detallado de las actividades propuestas se plantea:

5.1 Reconocimiento, diagnostico fisicoquímico y establecimiento de parcelas en el área de estudio.

Es una fase descriptiva con fines de identificación entre otros aspectos de los componentes y acontecimientos en un rango de tiempo, de los procesos y el contexto de las experiencias. La caracterización del área se realizó, en primera instancia con el reconocimiento del lugar a intervenir; a partir del análisis de datos se obtiene información de las condiciones

iniciales con las que se cuenta, análisis de suelo que permitió reconocer el contenido nutricional aportante a la especie seleccionada, pendiente del terreno, parámetros físicos del suelo, coordenadas específicas. Ya reconocida el área de estudio, se continuó con la delimitación, de la siguiente manera: (Sanchez, 2010)

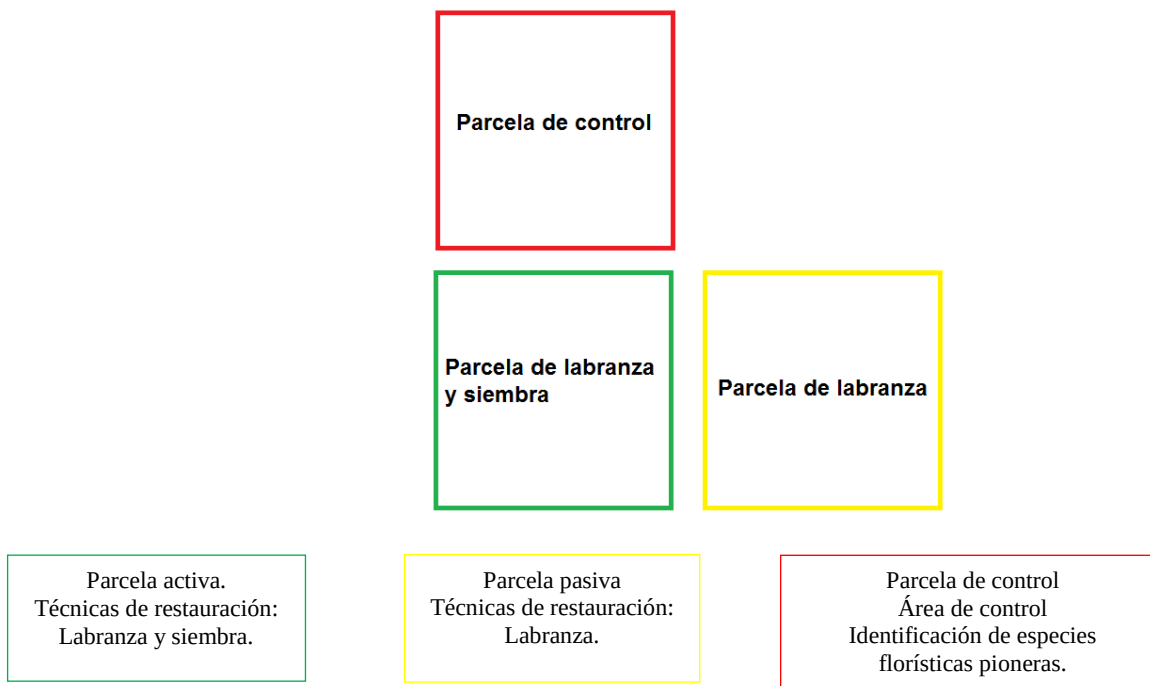


Figura 2. **Forma de establecimiento de las parcelas de estudio.**

Ver Apéndice A. Ruta de accesibilidad al área de estudio

Posterior a la delimitación, la toma de coordenadas con el sistema de posicionamiento global (GPS) determinó la posición exacta de las parcelas investigativas para el análisis mediante interpretaciones de fotografías aéreas soportadas en el software google earth e imágenes obtenidas con equipo no tripulado (dron).

La nivelación topográfica consistió en la diferencia de altura entre dos puntos midiendo ángulos verticales, así mismo se pudo implementar distancias horizontales o inclinada; con el

objetivo de determinar los desniveles (Hudiel, 2008), de esta manera se trabajó en el área de estudio para hallar la pendiente del terreno y el análisis de la erosión que presentaba el suelo.

Herramientas: Nivel topográfico, mira o estadal y cinta métrica

Procedimiento según Garcia, 2003:

Ubicar el nivel topográfico en un lugar que sea accesible a la observación de las diferentes alturas del área de estudio.

Ubicar la mira en la parte más alta del área de estudio

Toma de cota

Ubicar la mira en la parte más baja del área de estudio

Toma de cota

Medir la distancia entre el punto más alto y el punto más bajo.

Calcular la pendiente en base a la siguiente formula.

Ecuación 1. Formula para hallar pendiente.

$$P = \frac{Cota\ máxima - Cota\ mínima}{Distancia} \times 100$$

5.1.1 Identificación del tipo, clase y grado de erosión.

Para la identificación del tipo, clase y grado de erosión se realizó una valoración visual del sitio basado en la clasificación de la erosión establecida por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) en el cual se incluye la clasificación detallada de las causas de la degradación de suelos.

5.1.2 Toma de muestras para análisis fisicoquímico.

En cuanto a la recolección de muestras para el análisis físico de textura, químico de elementos presentes, porcentaje de materia orgánica, pH entre otros, se propuso el método por muestras compuestas tomadas al azar.

Las respectivas muestras se realizaron bajo los protocolos estimados por la Universidad Nacional de Medellín (Universidad Nacional de Medellin, 2017) que son los siguientes:

El diseño de muestreo se tomó en zigzag, se tomaron seis submuestras para poder crear una muestra compuesta y de esa muestra se enviaron 500gr con las debidas exigencias para el ingreso a laboratorio (Tabla 4).

Tabla 2.

Métodos para análisis químicos de suelos

Análisis	Norma / método
Textura	Método de Bouyoucos.
Ph	NTC-5264. Método extracción: suelo/agua (1:1). Método cuantificación: Potenciométrico.
Conductividad Eléctrica (C.E)	NTC-5596. Método de extracción: A. Pasta de saturación. Método de cuantificación: Potenciométrico.
Materia Orgánica (M.O)	NTC-5403. Método de extracción: B (Walkley Black) Oxidación Húmeda. Método de cuantificación: Volumétrico.
Aluminio (Al)	NTC-5263- Método de extracción: KCl 1M. Método de cuantificación: Volumétrico.
Bases Intercambiables: Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Sodio (Na) y Potasio (K)	NTC-5349. Método de Extracción con Acetato de Amonio 1N y pH 7. Método de cuantificación: Absorción Atómica (AA).

Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva (CICE)	NTC-5268. Numeral 4.1. Método: A. Saturación con acetato de amonio. Método de cuantificación: Absorción Atómica (AA).
Fósforo (P)	NTC-5350. Método extracción: B (Bray II). Método de cuantificación: empleando como reductor ácido ascórbico. NTC-5350. Método extracción: C (Olsen). Método de cuantificación: empleando como reductor ácido ascórbico.
Azufre (S)	NTC-5402. Numeral 4.4.2. Método extracción: Fosfato monocálcico. Método de cuantificación: Turbidimétrico (UV/VIS).
Micronutrientes Disponibles: Cobre (Cu), Zinc (Zn), Hierro (Fe), Manganeso (Mn).	NTC-5526. Numerales 5.1.3.3 y 5.4.3. Método de Olsen Modificado. Método de cuantificación: Absorción Atómica (AA).
Boro (B)	NTC-5404- Numerales 4-1-2. 4.4.1. Método extracción: A: Berge y Troug (Agua caliente).
Nitrógeno (N)	Soil Survey Laboratory Methods Manual Versión 03, 1996): 2 ^a 1, 6L2a. Turbidimétrico (UV(VIS)).

Fuente: Según Resolución CF-004 de 2016: “Por la cual se fijan las tarifas para los servicios de análisis de que presta el Laboratorio de Suelos, adscrito a la Escuela de Geociencias, Facultad de Ciencias, en el año 2016”.

Una vez separado el terreno se procedió a la toma de muestras considerando que esta debe estar compuesta por sub-muestras aleatoriamente tomadas en el campo y así obtener una muestra compuesta. Se toman 6 submuestras, de las cuales dos submuestras fueron en cada parcela, dos submuestras en la parcela control, dos submuestras en la parcela labranza y dos submuestras en la parcela de labranza y siembra para poder tener mayor información sobre las condiciones del

suelo en el área e estudio. Estas seis submuestras se hicieron en forma de zig-zag; dos de cada una de las parcelas para crear solamente una muestra enviada a laboratorio (ICA, 1992).

Procedimiento (Moreno, 2012); limpiar la superficie del suelo, en un área de 40 X 40 cm, eliminando hojarascas, raíces y/o material pedregoso.

Forjar un hueco en forma de V de un ancho de 15 a 20 cm, con profundidad aproximada de 20 cm.

Cortar una tajada del suelo con la pala de 3 cm, de grueso en la pared del hueco

Cortar con el machete las partes laterales de la tajada, dejando la parte central de aproximadamente 5 – 10 cm. luego se agrega al balde.

Se Repitió esta operación en la parcela activa en zig-zag separados en 0.50 m. Se hizo dos submuestras en cada parcela en forma de zig-zag, que género una muestra que se envió para laboratorio.

Se mezcló las muestras, y separo un kilogramo y empaco en la bolsa plástica tipo “ziplock” con su respectivo rótulo.

5.1.3 Determinación de concentraciones de minerales, pH y materia orgánica.

En cuanto a la determinación de las concentraciones de minerales, pH y materia orgánica se planteó el análisis de laboratorio, la muestra de suelo recolectada se envió al laboratorio de suelos de la Universidad Nacional sede Medellín en el cual se realizaron los análisis correspondientes (Tabla 4).

5.2 Siembra de la especie *Centrosema macrocarpum*

Actividades necesarias para el establecimiento de la especie *Centrosema macrocarpum*, incluyen la preparación del terreno y siembra.

5.2.1 Preparación del terreno

La preparación del terreno conlleva a una serie de prácticas o técnicas con el objetivo de establecer las condiciones óptimas para la recuperación y restauración de coberturas vegetales, por medio de acciones encaminadas: al encausamiento de las aguas de escorrentía, a mejorar la textura del suelo, a controlar plagas que puedan interferir en el proceso, y aumentar la cantidad de elementos presentes en los suelos.

Herramientas: Pala, azadón, estacas o trinchos, soportes de guadua.

Construcción de zanjas de infiltración con el fin de contener el escurrimiento del agua superficial y favorecer la infiltración en el suelo.

Acondicionamiento del terreno sobre el cual se siembra sin que haya escurrimiento del agua.

Labranza mínima con profundidad aproximada de 0.3 metros en la parcela de labranza y en la parcela de siembra.

Erradicar cualquier tipo de agente externo (hormigas), que pudieron alterar los procesos de siembra, germinación y crecimiento de la especie vegetal.

5.2.2 Siembra

La siembra es una de las actividades principales para cumplimiento del objetivo de revegetalizar y disminuir la erosión que es la base primordial para que exista vegetación herbácea en el área de estudio. Consistió en situar las semillas de *Centrosema macrocarpum*, de una forma directa para su emplazamiento definitivo en el suelo del área de investigación. La técnica de siembra fue organizada en cuadrículas separadas entre sí por cinco (5) centímetros de una a una.

Cantidad de semilla:

La cantidad de semilla a utilizar por hectárea depende de factores climatológicos, preparación del terreno y del método de siembra; a parte también se tuvo en cuenta un factor numérico que se divide entre el valor cultural, el cual varía de acuerdo al tamaño de la semilla. Para el caso de semillas de tamaño medio que son las semillas de *Centrosema macrocarpum* con un diámetro de 0.7 cm. aproximadamente se utilizó un factor numérico de 675, considerado como constante de fórmula.

Características de la semilla seleccionada (Lobo, 2003)

Centrosema macrocarpum:

Pureza: 97%

Germinación: 87% (Escarificada al remojo)

Valor cultural (VC): 84.39

Ecuación 2: Formula para determinar el valor cultural.

$VC = (\% \text{Pureza} * \% \text{Germinación}) / 100$

Ecuación 3. Fórmula para la determinación de la cantidad de semilla por hectárea.

$$CS = \frac{675}{VC}$$

Dónde: CS= Cantidad de semilla

675= Factor numérico de la especie

VC= Valor cultural

Cantidad de semilla: 8 Kg/Ha

Técnica organiza por cuadrícula separa por 5 cm cada una: 9.6 Kg/Ha

Cantidad de semilla en parcela activa: 3.84 gr/4m²

5.3 Seguimiento y monitoreo.

El monitoreo brinda transparencia y claridad en la rendición de cuentas y así mismo genera confianza del proyecto y su administración entre actores (Crawford, 2003).

Se monitoreó el área de estudio mediante:

Visitas continuas a campo: Una visita por semana para la evaluación del comportamiento y desarrollo de la especie herbácea en la parcela.

Seguimiento en cuanto al crecimiento de la especie mediante la caracterización de 3 aspectos los cuales son: Germinación, crecimiento y cobertura en relación al área total de la parcela.

Tabla 3.*Programación de visitas de campo*

Características	Variable	Descripción	Visitas en campo
Física del suelo	Textura	Se realiza mediante la muestra evaluada en laboratorio de la Universidad Francisco de Paula Santander	Una (1) al inicio del proyecto. Una (1) al final del proyecto
Física del suelo	Tipo de erosión	Se analiza mediante observación directa en campo	Una (1) al inicio del proyecto
Químico del suelo	Elementos presentes en el suelo	Se realiza mediante la muestra evaluada en laboratorio de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín	Una (1) al inicio del proyecto. Una (1) al final del proyecto
Químico del suelo	pH	Se realiza mediante la muestra evaluada en laboratorio de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín	Una (1) al inicio del proyecto. Una (1) al final del proyecto
Clima	Precipitaciones	Reporte de IDEAM, para los últimos diez (10) años	Solicitud directa al IDEAM,
Clima	Temperatura	Reporte de IDEAM, para los últimos diez (10) años	Solicitud directa al IDEAM,
Desarrollo de la especie	Germinación	Se realiza en prueba <i>ex-situ</i> , mediante	Las primeras cuatro (4) semanas del

Características	Variable	Descripción	Visitas en campo
herbácea		un germinador en sustrato de suelo del área de estudio, que permita reconocer el porcentaje de germinación de la especie en condiciones naturales	proyecto
Desarrollo de la especie herbácea	Crecimiento	Se mide en cada semana en centímetro(cm)	Una (1) vez por semana en todo el transcurso del proyecto.
Desarrollo de la especie herbácea	Cobertura	Se mide en cada semana en centímetro(cm)	Una (1) vez por semana en todo el transcurso del proyecto.
Desarrollo de la especie herbácea	Índice foliar	Se mide en cada semana en centímetro(cm), que permita reconocer el área que cubren las hojas del cultivo en relación al área desnuda de la parcela	Una (1) vez por semana en todo el transcurso del proyecto.

Fuente: Autor del proyecto

El monitoreo permite:

Controlar durante la implementación del proyecto, que la inversión se haya hecho de la forma planificada en monto y tiempo.

Determinar, en distintos hitos de la ejecución, si se están cumpliendo o se han cumplido los objetivos a corto plazo y las metas a largo plazo.

Administrar el proyecto de forma adaptativa para hacer en respuesta a resultados inesperados.

5.3.1 Cuantificación de la germinación

Para determinar el porcentaje germinativo, se hacen pruebas con muestras de semilla tomadas al azar sometiéndolas a condiciones germinativas idénticas a las del área de estudio. La prueba de germinación se hizo en germinadores especiales que asegura una adecuada aireación y humedad a cada semilla (FAO, Evaluación de la calidad de la semilla, 2010).

Se tomó una muestra representativa de semillas y se siembran en los cubículos de una en cada uno en suelo extraído del área de estudio, se mantuvieron en condiciones similares a las del área de estudio a excepción del riego aplicado constantemente, que permitió determinar su germinación por garantía de la casa comercial que las suministra, este indicador permite comprobar el estado de la especie para siembra, pero no representa el rendimiento de ésta en condiciones naturales por la irrigación óptima y condiciones de clima en general.

Se realiza seguimiento al desarrollo de las plántulas y posteriormente se calcula el porcentaje de germinación aplicando la siguiente ecuación:

Ecuación 4. Fórmula para determinar el porcentaje de germinación.

$$\% \text{ De germinación} = (SM / SG) * 100\%$$

Dónde:

SM: Número total de semillas en la muestra.

SG: Número total de semillas germinadas.

5.3.2 Tasa de crecimiento.

El cálculo de la tasa de crecimiento herbáceo es una medida que determina el crecimiento con respecto al tiempo de la planta o plantas de interés.

Para determinarlo se realizó una selección al azar dentro de la parcela de labranza y siembra, se realizó un seguimiento semanal y respectiva medición a las plántulas seleccionadas (10 plantulas), se calculó la tasa de crecimiento promedio aplicando la siguiente ecuación:

Ecuación 5. Fórmula para calcular la tasa de crecimiento promedio..

$$CP = PCP / No S$$

Dónde:

CP: Crecimiento promedio

PCP: Promedio de crecimiento total de las plántulas

No S: Numero de semanas.

5.3.3 Índice de área foliar.

Es un cálculo aproximado de la capacidad productiva de la comunidad vegetal (Degiovanni, 2010).

Se calculó mediante la relación entre el área que cubren las hojas del cultivo y el área de la parcela de estudio.

Ecuación 6. Fórmula para calcular el índice de área foliar.

$$IAF = AHC / AC$$

Dónde:

IAF: Índice de área foliar.

AHC: Suma del área de hojas en el cultivo

AC: Área de cultivo.

Tabla 4.

Descripción de las metas, indicadores y cuantificadores a considerar según la propuesta del MADS (2007).

Metas, indicadores y cuantificadores

Meta	Periodo	Indicador	Cuantificador
Elaborar el diagnóstico inicial del área de estudio en el primer mes.	Corto plazo	Diagnóstico del área de estudio	<u>Físico</u>
			-Textura
			-Tipo de erosión
			Químico
			-Elementos presentes
			-pH
			<u>Climatológicos</u>
			-Precipitaciones anuales
			-Temperatura
			<u>Fotointerpretación</u>
			-Fotografías aéreas

Cuantificar la germinación y el desarrollo de la especie <i>Centrosema macrocarpum</i>, en relación a su crecimiento, cobertura vegetal y función; en dos meses.		-Porcentaje de germinación
		-Crecimiento semanal de la especie herbácea
	Corto plazo	-Germinación
		-Crecimiento
		-Índice de área foliar (m ² hojas/m ² de terreno)
		-Cobertura
		-Porcentaje de suelo revegetalizado en el área de estudio.
Evaluar la eficiencia y rendimiento de las técnicas ambientales en cuatro meses.		Comparación
		-Porcentaje de suelo revegetalizado en las diferentes parcelas.
	Corto plazo	-Parcela No.1. Labranza y siembra.
		-Parcela No.2. Labranza
		-Parcela No. 3. Área de control

Fuente: Autor del proyecto

Capítulo 6: Resultados y discusión

Como resultado fundamental a la cabalidad del proyecto, se obtiene la revegetalización de 4m² de suelo destinado al proyecto jardín botánico en la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña y propiedades ecológicas mediante la recuperación de la cobertura vegetal con la especie herbácea *Centrosema macrocarpum*, y a su vez el conocimiento científico mediante la aplicación de técnicas de preparación del suelo (labranza mínima) y siembra manual en condiciones naturales del bosque seco tropical bs-T.

6.1 Características fisicoquímicas del suelo, resultados del análisis de laboratorio del año 2016.

Se describen a continuación entonces, los resultados de los análisis de laboratorio.

a) Textura

Franco arcillo arenoso (FArA) cuyas proporciones están distribuidas así:

Arenas: 52%

Limos: 20%

Arcillas: 28%

Tipo de suelo con capacidad alta de infiltración cuando no está compactado. Esta textura tiene alta consistencia. Se puede fabricar el "lulo", la "cinta" y la esfera, pero se rompen a la presión. Es áspera al tacto y adhiere arcillas moderadamente a los dedos (Peralta, 1995). Teniendo mayor presencia de arenas y baja presencia de los limos y arcillas el suelo no es bueno reteniendo la humedad y se dificultará el proceso de reproducción de las semillas, pero si una buena cantidad de arenas lo que hace que la raíz reciba suficiente aire debido a la porosidad del suelo y de este modo mantener viva las plantas.

b) pH : Acido 4.7

Los resultados obtenidos por el análisis químico permiten identificar el suelo o clasificarlo como un suelo ácido, lo que propone entonces como obstáculo que bajo tales condiciones sea menor la disponibilidad en cuanto a la absorción de nutrientes para las plantas.

Los suelos ácidos se dan en el proceso mediante el cual el pH disminuye, es decir, aumenta su concentración de hidrogeno; un suelo con un pH bajo va a presentar problemas de desarrollo porque el crecimiento de plantas y microorganismos va a estar inhibido, los problemas empiezan a aparecer cuando el pH disminuye por debajo de 5.5. Cuando se refiere al crecimiento de las plantas se consideran un rango generalmente, el cual está entre 4-9 en la escala de pH fuera de este rango, casi ninguna planta puede crecer (IPNI, 2016), que para esta investigación es adecuado para el desarrollo de la especie herbácea escogida bajo criterios técnicos.

Los efectos causados por la acidez en los suelos son los siguientes:

Disminución de la disponibilidad de nutrientes (P, Mg, Ca) en los lugares donde suelen ser absorbidos por las plantas por haber sido intercambiados por otros cationes como H^+ o Al^{3+} .

Riesgo de encontrar niveles tóxicos de aluminio (Al), manganeso (Mn) y otros metales que en condiciones ácidas pueden llegar a ser muy móviles. El aluminio va a producir un descenso en el crecimiento en longitud de las plantas y lo va a hacer actuando a dos niveles: inhibiendo el crecimiento celular e inhibiendo la división celular. Por su parte, el manganeso va a provocar daños en las partes aéreas de las plantas: manchas necróticas en los tallos y manchas rodeadas de un halo de necrosis en las hojas, que además van a aparecer arrugadas.

Agotamiento de la capacidad de amortiguamiento del suelo. Se va produciendo una disminución progresiva de la capacidad de neutralizar ácidos a medida que el pH disminuye.

Disminución del crecimiento de plantas y de los procesos microbiológicos que ocurren en el suelo, especialmente si el pH disminuye por debajo de 4. De esta forma se va a perder aporte de materia orgánica al haber menos biomasa y los procesos de nitrificación que realizan las bacterias van a estar desfavorecidos. Esto conlleva una debilitación de la estructura de agregados del suelo que favorecía la aireación y el movimiento de agua, y se van a formar costras superficiales que aumentan la escorrentía y disminuyen la lixiviación.

Para el caso de este proyecto el crecimiento ha sido lento pero se ha presentado su establecimiento, como se evidencia en las gráficas más adelante.

c) Porcentaje de materia orgánica: 0,6%

La materia orgánica contribuye al crecimiento de las plantas a través de sus efectos sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Este último tiene una función Nutricional de la planta en la que sirve como una fuente de N, P y S para el crecimiento. Afecta profundamente la actividad de la microflora, la microfauna y una función física en lo que promueve una buena estructura, con lo cual mejora las labores de labranza, aireación y la retención de humedad (Rioja, 2002).

El humus también juega un rol indirecto en el suelo a través de sus efectos sobre la absorción de micronutrientes por las plantas, para este caso, no se utiliza ningún aporte de materia orgánica con el fin de demostrar la capacidad que tiene el suelo en esas condiciones de recobrar de alguna manera su funcionalidad de soporte, y asimismo, determinar una herramienta práctica y económica en el establecimiento vegetal y propiedades ecológicas de manera rápida y económicamente viable.

Tabla 5.

Interpretación de materia orgánica presente en el suelo.

Porcentaje de materia orgánica	Nivel
<0.9	Muy bajo
1-1.9	Bajo
2-2.5	Normal
2.6-3.5	Alto
>3.6	Muy alto

Fuente: Rioja Molina, A. (2002). Apuntes de Fitotecnia General, E.U.I.T.A. Ciudad Real.

El contenido de materia orgánica del suelo es de 0.6%, con lo que se concluye que de acuerdo a la anterior clasificación que se trata de un **nivel de materia orgánica Muy Bajo**, más adelante del proyecto se demuestran los cambios ocurridos en las propiedades ecológicas del suelo.

d) Presencia de macronutrientes.

Fósforo (P) 7 mg/Kg = 7 ppm de P

Potasio (K) 0.22 meq/100g = 85.8 ppm de K

Fósforo y Potasio son dos de los tres macronutrientes más importantes (el otro es nitrógeno) requeridos por las plantas para un crecimiento óptimo. Estos nutrientes son requeridos en cantidades grandes en comparación con los micronutrientes (Ej., Zinc, Hierro, Boro, etc.) (Espinoza N. , 2016).

En cuanto a cultivos se refiere, la concentracion de fósforo esta en su óptimo cuando supera las 50 ppm y el potasio cuando esta por encima de 175 ppm (Espinoza N. , 2016); por lo tanto se evidencia que los suelos en las parcelas de investigacion presentan niveles escasos de potasio, asi mismo, los niveles de fosforo son muy bajos ya que los suelos presentan tan solo 7 ppm disponibles para las plantas.

$$\text{Calcio (Ca)} = 1.8 \text{ meq/100g} = 360 \text{ ppm}$$

$$\text{Magnesio (Mg)} = 0.9 \text{ meq/100g} = 108 \text{ ppm}$$

La mayoría de los suelos arenosos tienen concentraciones menores de 400 a 500 ppm de calcio, los suelos arcillosos usualmente superan valores de 2500 ppm. Normalmente, el contenido de arcilla incrementa el de calcio. Las deficiencias de calcio no son muy comunes. En general, los suelos arcillosos necesitan más cal que los suelos de textura media para mantener el pH del suelo a los niveles deseados. Si el análisis de suelo el calcio es menor de 31 ppm, los reportes de suelo sugerirán aplicaciones de magnesio. La mayoría de suelos bajos en magnesio son usualmente ácidos y bajos en calcio. En el caso de la muestra de suelo analizada se determinan niveles óptimos de magnesio y relativamente bajos de calcio, determinado por la textura principalmente arenosa del suelo (Espinoza L. , 2016).

e) Azufre (S) = 7 mg/Kg = 7 ppm

El Sulfato-azufre puede lixiviarse en suelos arenosos y acumularse en horizontes de suelos arcillosos o compactados. Por esta razón, las respuestas a la fertilización con azufre no son comunes en suelos arcillosos. Al descomponerse la materia orgánica, el azufre y el nitrógeno son liberados a la solución de suelo. Como consecuencia de esta compleja reacción, la concentración de estos nutrientes posiblemente varíe con el tiempo, condiciones ambientales y

profundidad del suelo. Según Cerveñansky (2011), en su trabajo fertilidad en relación al azufre, concluye que en suelos con menos de 10 ppm de S-SO₄ (forma asimilable: en solución + algo de lo adsorbido) están en estado crítico en cuanto a disponibilidad de este elemento.

f) Presencia de micronutrientes.

Hierro (Fe)= 30 mgKg⁻¹

Zinc (Zn)= 1 mgKg⁻¹

Manganeso (Mn) = 17 mgKg⁻¹

Cobre (Cu) = mgKg⁻¹

Sodio (Na) = 0.03 meq/100g

Los niveles extraíbles o asimilables por las plantas de estos micronutrientes aparecen en los reportes de análisis de suelo. Sin embargo, con la excepción del zinc, los niveles de estos no afectan en gran medida la fertilidad del suelo. Los análisis de suelos con niveles de zinc por debajo de 4 ppm y con pH superiores a 6.0 señalan un déficit y se recomienda la aplicación de zinc. Niveles muy altos de micronutrientes no indican necesariamente que una planta será afectada por toxicidad del micronutriente específico. Por ejemplo, análisis de suelos con niveles de hierro superiores a 200 ppm y niveles de zinc mayores a 40 ppm son algunas veces encontrados en los suelos, pero en la mayoría de los casos dichos niveles no son tóxicos para una planta. En contraste, niveles de manganeso que excedan 200 ppm, acompañado con pH de suelos de 5.2, podrían resultar tóxicos por manganeso. Un análisis de suelo con niveles de Mn <40 ppm son considerados bajos. Niveles de Mn menores de 20 ppm, posiblemente requieran fertilizantes con Mn (Espinoza L. , 2016).

g) Aluminio iónico Al = 4.1 meq/100g

Se han generalizado tres criterios para considerar al aluminio como un problema en el suelo:

Cuando se presentan en el suelo, valores superiores a 2 meq de aluminio intercambiable

Cuando el porcentaje de saturación de aluminio, en relación con los cationes intercambiables, es mayor que 25

Si la relación $(Ca+Mg+K)/Al$ es menor o igual que uno.

Sosa (1994), estableció niveles tóxicos por encima de 1,24 meq de Al/100g ya que ocasionan inhibición en el desarrollo radicular (Sosa, 1994).

En cualquiera de estas circunstancias es necesaria la implementación de algún correctivo con el fin de reducir el efecto tóxico del Aluminio para las plantas (Instituto Colombiano Agropecuario, 1992), sin embargo no se observó ningún efecto tóxico provocado por la presencia del Aluminio en las parcelas

h) Capacidad de intercambio catiónico efectiva. CICE = 7.1

La capacidad de intercambio catiónico (CIEC) se refiere a la habilidad de las partículas de suelo que tienen carga negativa para atraer y retener cargas positivas de iones [calcio (Ca^{++}), magnesio (Mg^{++}), potasio (K^{+}), sodio (Na^{+}), amonio (NH_4^{+}), aluminio (Al^{+++}) e hidrógeno (H^{+})]. La CEC en los análisis de suelos es reportada en términos de “Capacidad de Intercambio Catiónico Estimado” o ECEC, porque esta propiedad es calculada (en lugar de ser determinada analíticamente) por medio de la suma de las cargas de los cationes básicos (Ca, Mg, Na and K) y estimaciones de cargas de los cationes ácidos derivadas del pH del suelo. La ECEC es también un indicador de la textura del suelo y del contenido de materia orgánica. Generalmente las

texturas arenosas de suelos tienen un ECEC <9 cmol/kg, suelos francos tienen una ECEC de 9 a 20 cmol/kg, y los suelos arcillosos superiores a 20 cmol/kg. El contenido de arcilla, el tipo de arcilla y la materia orgánica afectan el CEC. En general la ECEC incrementa en suelos arcillosos y con contenidos altos de materia orgánica (Espinoza N. , 2016).

6.2 Análisis de suelo

Tabla 6.

Discusión de análisis de suelos del año 2016 y 2017.

PARAMETRO	ANÁLISIS DE SUELO 2016	ANÁLISIS DE SUELO 22 DE MARZO 2017	ANÁLISIS DE SUELO 2 DE MAYO 2017
Textura	Arenas: 52%	Arenas: 32%	Arenas: 72%
	Limos: 20%	Limos: 28%	Limos: 4%
	Arcillas: 28%	Arcillas: 40%	Arcillas: 24%
pH	4,7	4,9	4,7
Materia orgánica	0,6%	0,37%	0,05%
Aluminio (Al)	4.1 meq/100 g	18.3 meq/100 g	3.5 meq/100 g
Calcio y magnesio		Ca= 3,9 meq/100g	Ca= 0,14 meq/100g
	Ca= 1,8 meq/100g Mg= 0,9 meq/100g	Mg= 2,9 meq/100g	Mg= 0,06 meq/100g
Potasio	0,22 meq/100g	0,34 meq/100g	0,11 meq/100g

Sodio	0.03 meq/100g	0.11 meq/100g	0.03 meq/100g
CICE	7,1	25,6	3,8
Fósforo	7mgKg ⁻¹	1mgKg ⁻¹	4mgKg ⁻¹
Azufre	7mg/Kg	3mg/Kg	8mg/Kg
Hierro	30 mg/kg	32 mg/kg	2 mg/kg
Manganeso	17 mg/kg	12 mg/kg	1 mg/kg
Cobre	No cuantificable	1 mg/kg	0.5 mg/kg
Zinc	1mgKg ⁻¹	2mgKg ⁻¹	0,1mgKg ⁻¹

Fuente: Autor del proyecto

Las partículas primas (arena, limo y arcilla) son las que proporcionan la textura del suelo, a pesar que no se considera como un factor que beneficie el crecimiento de las plantas, este ejerce influencia en aportes de agua, aireación a las raíces, nutrimentos y desarrollo de la macrofauna. Teniendo en cuenta lo anterior, inicialmente la textura franco arcilloso arenoso pudo modificarse por las corrientes de agua y viento que pudieron depositar mayor cantidad de arenas y se vieron sedimentas en los suelos intervenidos por la labranza que se realizó para el desarrollo del proyecto, lo que demuestra que no existe un cambio en la textura del suelo pero el aporte de partículas externas al sitio pueden modificar las condiciones naturales.

En este análisis se pudo observar un aumento del pH que genera mejores condiciones para el suelo siendo este adecuado para el crecimiento de las plantas, la elevación del pH se le atribuye a el aumento de los cationes básicos como lo son el calcio(Ca), magnesio (Mg), potasio (K) y sodio (Na). El pH afecta a la actividad microbiana necesaria para provocar la transformación de ciertos elementos, que se liberan en formas no asimilables y han de sufrir una transformación química que permita su fácil absorción. En Los últimos análisis se obtuvo un resultado de 4.7 (pH) en la parcela de control , siendo este igual al primero realizado, debido a que el suelo se encuentra desprovisto de vegetación y no se ha modificado su estado con característica de suelos ácidos.

Altieri & Nicholls (2009), piensan que ‘‘la disminución de materia orgánica se debe a la influencia de las condiciones de temperatura y precipitaciones, que aumentan la erosividad del suelo, debido a la acción externa de los vientos que acelera la descomposición de la misma’’, sin embargo el establecimiento de la cobertura vegetal permite aportar materia orgánica en el proceso de crecimiento de sus raíces, sin embargo, en los procesos iniciales de desarrollo de la

plántula podría aprovecharse la poca materia orgánica existente para las faces críticas de crecimiento radicular y foliar.

Los suelos normalmente ácidos tienen altos contenidos de aluminio intercambiable. La mayor parte de acidez de los suelos proviene generalmente del Aluminio; cada tipo de suelo tiene su grado de tolerancia a la acidez.. Molina (2012), cree que el pH del suelo está directamente relacionado con el porcentaje de saturación de acidez, ya que el aluminio intercambiable precipita entre pH 5.5 y 6.0. Cuando el pH es menor de 5.5 el aluminio se solubiliza, y por lo tanto, resulta más abundante y tóxico para las plantas.. Sosa (1994), “estableció niveles tóxicos por encima de 1,24 meq de Al/100g ya que ocasionan inhibición en el desarrollo radicular”, por ende la cantidad de Aluminio que está contenida en el suelo resulta desfavorable para el desarrollo de las plantas.

Debido al aumento de la proporción de las arcillas en el suelo, que ha impedido que el Aluminio se desplace para reemplazar los espacios ocupados por esta, ha constituido entonces, una disminución considerable de la cantidad de Aluminio soluble en el suelo. Jiménez (2001), Por su lado, el Calcio libera el aluminio retenido en las cargas negativas de la partícula. Se necesita además, mucho Calcio para desplazar el Aluminio; y así entonces, este poder incorporarse fácilmente en el suelo, condición que no se cumple debido al notable cambio de las cantidades de Calcio (0.14 meq/100 g) disponibles en el suelo que inhiben el desplazamiento y absorción del Aluminio en el suelo.

Según un estudio realizado por (Andrades & Martínez, 2014) “los suelos con pH ácidos suelen ser bajos en cationes de Calcio y Magnesio”, en el análisis realizado en la parcela de control se obtuvo un pH de 4.7, en comparación con el análisis realizado anteriormente se

evidencio un pH de 4.9, lo cual permite justificar la disminución de los niveles de Ca y Mg, por el aumento de la acidez en el suelo.

Las concentraciones más bajas de Calcio generalmente se presentan en niveles más bajos para suelos muy lavados, que presentan capacidad de intercambio catiónico gradualmente baja. Según (Roldán, Venialgo, & Gutiérrez, 2004), “las concentraciones del potasio en el suelo pueden verse disminuidas notablemente por el lavado de nutrientes y la erosión, así también, los rangos de valores críticos presentan una clasificación”, teniendo así, que los niveles de este macronutriente se encuentran en niveles bajos ($<0,15$ meq/100 g) ya que el resultado del análisis demuestra que hay 0,11 meq/100 g presentes en la parcela de control, la cual no ha sido intervenida ni se le han frenado los procesos erosivos.

Se evidenció un aumento considerable de 0.03 meq/100g a 0.11 meq/100g, debido a las pocas precipitaciones que se presentaron se mostró una acumulación de Na^+ en la superficie de los suelos, debido a que el incremento de la evaporación conduce el agua del nivel freático hacia la superficie.

Este aumento de sodio hace que las partículas de arcilla tiendan a separarse. Este proceso de disociación técnicamente se denomina dispersión, las fuerzas que mantienen unidas a las partículas de arcilla (que abundan en mayor proporción en este suelo que las demás partículas) se interrumpen por los iones de Sodio, las partículas de arcilla dispersas se mueven por la estructura del suelo bloqueando sus poros. Los resultados son que la infiltración del agua a través del suelo así como su conductividad hidráulica, se reducen. Por lo tanto, el suelo puede anegarse y / o inundarse cuando se moja por deficiencia del proceso natural de filtración.

El daño a la estructura del suelo reduce la disponibilidad de oxígeno y capacidad de oxigenación en la zona radicular limitando el crecimiento normal de las plantas. Los suelos sódicos son susceptibles a erosión y esta genera pérdida de suelo y nutrientes. “El contenido alto de sodio junto con bajos niveles de sales solubles provocan una condición conocida como suelo sódico, la mala calidad del agua en un suelo es un gran contribuyente de la acumulación de sodio en este”.

La CICE en esta muestra del suelo es de 3 meq/100 lo cual es muy bajo para su parámetro ideal que es el de 35 meq/100, Este resultado se puede justificar pues el suelo de la muestra es una parcela de control de la investigación en el cual no se realizó labranza ni aporte de materia orgánica ya que los suelos con altos contenidos de materia orgánica por lo general tienen una mayor CICE que la de los suelos con bajos contenidos, además de que es un suelo erosionado y sometido a condiciones de intemperización.

Según (Lozano P, y otros, 2012) ‘‘la disponibilidad de fósforo en el suelo se debe a la reducción de sistemas de manejo convencionales como labranza mínima y aplicación de residuos en la superficie’’, esto justifica que el fósforo que se encuentra en la parcela de control, a la cual no se le aplicaron técnicas de manejo, tiene mayores partes por millón en comparación con las demás áreas trabajadas.

La disminución del azufre (S) se presenta generalmente por la ausencia de materia orgánica en el suelo, ya que esta disminuyó en un 0,3 a partir de sus condiciones iniciales, las cuales fueron 0,6, esta pérdida de azufre presenta una disminución en la fijación del nitrógeno atmosférico que realizan cada una de las bacterias presentes en el suelo. Además, este nutriente secundario es un componente de proteínas y ayuda en la formación de la clorofila. En las plantas

suple del 0,2 al 0,3% del extracto seco, por ello es importante en el crecimiento de la planta, por ende se considera que la *Centrosema macrocarpum* absorbió este nutriente debido a que este en un proceso de crecimiento.

En el lugar donde se realizó el análisis del suelo, no se llevó acabo ningún tipo de técnicas ambientales para el mejoramiento del mismo; estuvo expuesto a condiciones naturales para determinar su comportamiento sin contar con la presencia de especies herbáceas. El hierro es uno de los micronutrientes más abundantes en el suelo, la disponibilidad de este nutriente se ve muy afectada por la temperatura del suelo y las altas precipitaciones que se presentan en invierno, las cuales ocasionan la disminución de este micronutriente. Además la materia orgánica, es uno de los factores que mejora la presencia de este nutriente en el suelo, al evidenciar la ausencia de este factor, la concentración de Hierro es casi nula.

Según (Sierra, El manganeso, el suelo y las plantas, 2016) Existen diferentes factores que pueden alterar la disponibilidad del manganeso en el suelo, entre estos tenemos el pH y la materia orgánica. El PH es el factor es el más importante para determinar la disminución o aumento, pues a medida que la acidez aumenta el manganeso aumenta su solubilidad en la solución suelo, por esta razón en los 2 resultados de los análisis realizados del suelo, demostraron que el PH en la primera muestra es más ácido lo cual tenía un contenido de 17 mg/kg de manganeso, al disminuir la acidez en la segunda muestra de suelo nos mostró un contenido de 12 mg/kg de manganeso. En cuanto a la materia orgánica si se encuentra en gran cantidad, hay un aumento del manganeso, los resultados de la primera muestra arrojó resultados de materia orgánica de 0.6 % con contenidos de manganeso de 17 mg/kg y en los resultados de la segunda muestra es de 0.3 % con contenidos de manganeso de 12 mg/kg.

En cuanto a los resultados más recientes realizados en la parcela de control, el contenido de manganeso arrojó resultados de 1 mg/kg, lo cual se puede explicar cómo una relación con los resultados de materia orgánica con una cantidad de 0,05 % del mismo análisis.

La concentración de cobre en el suelo depende de factores como grandes contenidos de materia orgánica, presencia de pH bajos y de la disponibilidad de compuestos nitrogenados. Existen otros elementos presentes en el suelo que pueden afectar la disponibilidad del cobre como lo son como el calcio, fósforo, aluminio, hierro, zinc y molibdeno.

En los resultados más recientes realizados en la parcela de control arrojó resultados de cobre de 0,5 mg/kg, lo cual este resultado se debe a la cantidad de materia orgánica, que en este caso fue de 0,05 mg/kg, además de la presencia de elementos en el suelo como el calcio, fósforo, aluminio, hierro y zinc.

Según los resultados de zinc en 2017 ($0,1 \text{ mgKg}^{-1}$), su baja presencia en el suelo puede atribuirse a los altos contenidos de arena, además este es fijado por la presencia de materia orgánica, lo cual en la parcela control donde se extrajo la muestra no hay aportes de materia orgánica. De acuerdo a esto el aumento de zinc en el año 2016 (1 mgKg^{-1}) y el segundo análisis del 2017 (2 mgKg^{-1}) se deben a los diferentes aportes vegetales que han contribuido a la formación de cantidades de materia orgánica por lo cual aumenta la presencia de micronutrientes como el zinc.

6.3 Tipo de erosión.

La localidad de la vereda el Rhin en general evidencia alta intemperización por sus suelos desprovistos de vegetación en muchos sectores, por lo cual los procesos erosivos están activos. Se presentan entonces varios tipos de erosión al observar el paisaje como lo son la erosión hídrica, erosión eólica, erosión kárstica e incluso se evidencian rastros de erosión biológica.

En la ubicación de las parcelas de estudio, la erosión hídrica y eólica son los tipos de erosión que históricamente han degradado los suelos de esta área. Los suelos desprovistos de vegetación tienen altos grados de erodabilidad lo cual los hace propensos a los procesos de degradación del suelo, además en las épocas secas los suelos desprenden gran cantidad de partículas que por procesos de deflación son levantados al aire y a su vez generan erosión por abrasión (Imeson, 2006).

El grado de la erosión en el sitio se describe como erosión en cárcavas ya que las parcelas se encuentran dentro de un gran vacío superficial, hay ausencia de horizontes A y B y la capacidad de infiltración es muy baja (Menes, 2009). Con la realización de este proyecto se demuestra una disminución de erosión determinado por la presencia de cobertura vegetal como agente regulador ante los procesos de intemperización y sometimiento a condiciones externas climáticas.

6.4 Registro de precipitaciones y temperaturas

Tabla 9.

Precipitación y Temperatura mensual de los años 2016 y 2017 de los meses influyentes en el proyecto según la estación meteorológica: 16055100 UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER. Perteneciente a la red nacional de monitoreo climático

MESES	pp mensual (mm)	TEMPERATURA (°C)
AGOSTO (2016)	175,73	22,4
SEPTIEMBRE (2016)	81,43	21,96
OCTUBRE (2016)	116, 7	22,27
NOVIEMBRE (2016)	93,8	21,7
DICIEMBRE (2016)	37,43	44,56
ENERO (2017)	26,5	-
FEBRERO (2017)	54,1	-
MARZO (2017)	78,3	21,23
ABRIL (2017)	88,06	21,13

Fuente:

Autor

del

proyecto

Para entender de manera clara el comportamiento de precipitaciones en el tiempo del proyecto y reconocer las necesidades para el desarrollo de la especie herbácea y tomar como prueba piloto para su replicación se toman los datos mensuales obtenidos de la estación meteorológica ubicada en el área de estudio, donde se anotan los datos reflejados en la siguiente figura:

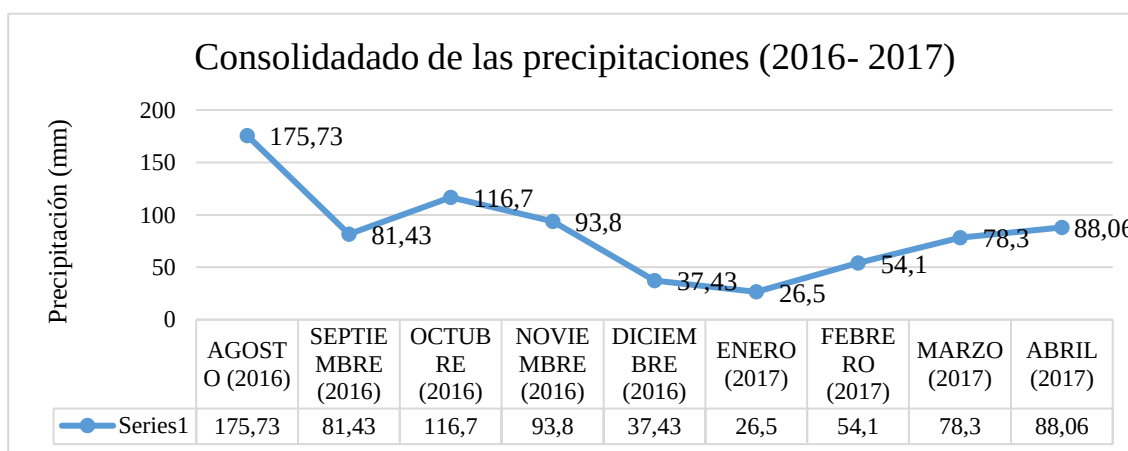
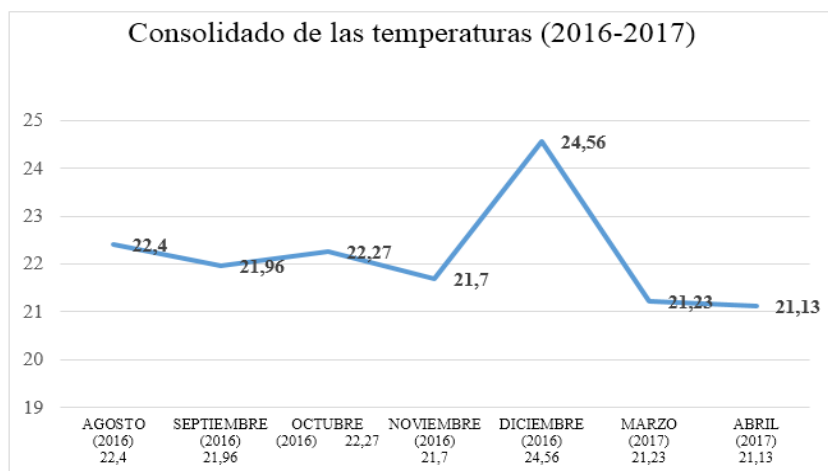


Figura 3. ***Precipitación mensual de los años 2016 y 2017 de los meses influyentes en el proyecto según la estación meteorológica: 16055100 UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER. Perteneciente a la red nacional de monitoreo climático***

Fuente: Autor del proyecto

Para reconocer el comportamiento de la especie establecida y en sus condiciones reales de temperaturas de tienen en cuenta los datos reportados por la estación meteorológica ubicada en el área de estudio.

Figura 4. Consolidado de precipitación de los años 2016 y 2017 que influyen en el proyecto de investigación.



Fuente: Autor del proyecto

Los resultados contenidos en este proyecto se establecen bajo las condiciones climáticas anteriormente demostradas y reportadas.

6.5 Fotointerpretación y clasificación de cobertura

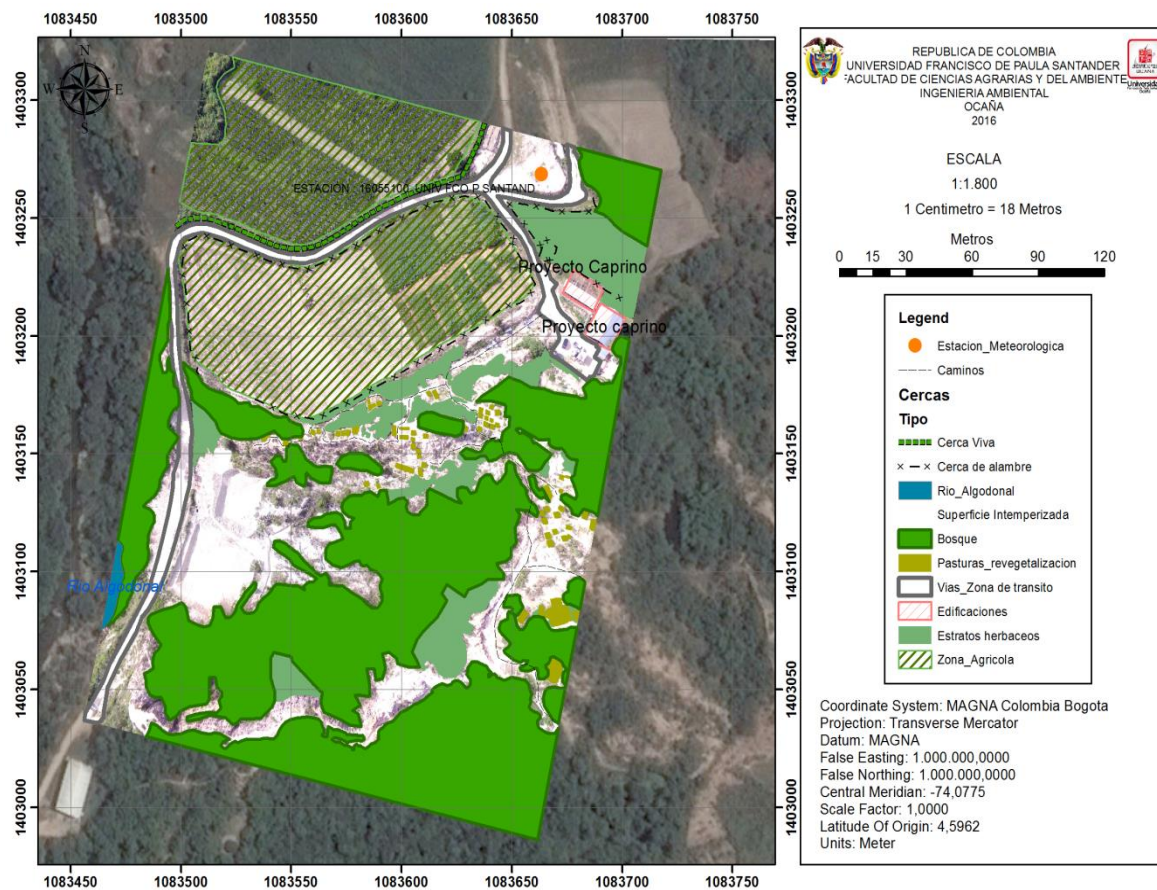


Figura 5. *Clasificación de coberturas del área de interés.*

Fuente: Elaboración propia. Software: ArcGis 10.3, Imágenes: Dron UFPSO y Google Earth Pro.

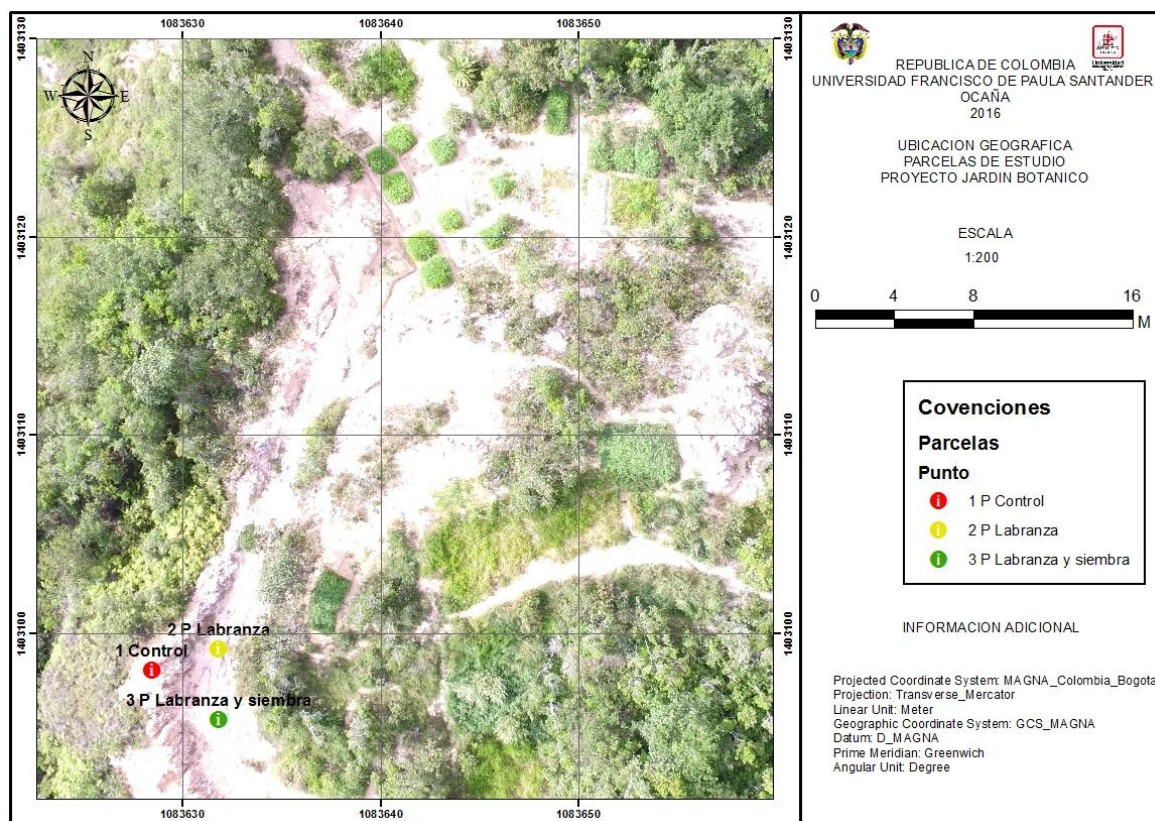


Figura 6. *Ubicación geográfica de las parcelas de estudio.*

Fuente: Elaboración propia. Software: ArcGis 10.3, Imágenes: Dron UFPSO.

6.6 Cuantificación de la germinación. (*ex situ*.)

$$\% \text{ De germinación} = (SG/SM) * 100\%$$

Dónde:

SM: Número total de semillas en la muestra.

SG: Número total de semillas germinadas.

$$SM = 100$$

$$SG = 82$$

$$\% \text{ De germinación} = 82\%$$

6.7 Análisis del desarrollo de la especie *Centrosema macrocarpum* en el año 2016.

6.7.1 Tasa de crecimiento.

TC= PCP/No P

Dónde:

TC: Crecimiento promedio

PCP: Promedio de crecimiento de las plántulas

NoP: Numero de Plántulas

Tabla 70.

Mediciones de crecimiento de Centrosema macrocarpum en promedio mensual

Mes	Altura Promedio	Unidad (Centímetros)	Ganancia de altura Centímetros (cms)
Septiembre	4.49	cms	4.49
Octubre	7.7	cms	3.21
Noviembre	9.18	cms	1.48
Diciembre	10.31	cms	1.13
Enero	11.65	cms	1.34
Febrero	13.46	cms	1.81
Marzo	14.71	cms	1.25
Abril	15.22	cms	0.51
TOTAL PROMEDIO	10.84	cms	1.90

Fuente: Autor del proyecto

Se obtiene crecimiento acelerado en los dos primeros meses de siembra de la especie herbácea.

Tasa de crecimiento diario de la especie herbácea *Centrosema macrocarpum*

TC= PCP/No D

TC: Crecimiento promedio diario

PCP= Promedio de crecimiento de las Plántulas

NoD=Número de días

PCP: 3.35

No D: 8

TC1= 3.35cm/8día = 0.41 cm/día

TC2= (4.45cm – 3.35cm) / 8 día = 0.1375 cm/ día.

TC3= (5.96cm – 4.45 cm) / 8 día = 0.18875 cm/ día.

TC4= (6.2 cm – 5.96 cm) / 8día = 0.03cm/ día.

TC5= (6.33cm-6.2cm)/8día = 0.01625cm/día

TC6= (7.35cm – 6.33cm) / 8 día = 0.1275 cm/ día.

TC7= (7.65 cm – 7.35 cm) / 8 día = 0.0375 cm/ día.

TC8= (8.48 cm – 7.65 cm) / 8 día = 0.83 cm/ día.

TC9= (8.67cm-8.48cm) /8día = 0.02375 cm/día

TC10= (8.81cm – 8.67cm) / 8 día = 0.0175 cm/ día.

TC11= (8.95cm – 8.81 cm) / 8 día = 0.0175 cm/ día.

TC12= (9.26 cm – 8.95 cm) / 8 día = 0.03875 cm/ día.

$$TC13 = (9.36\text{cm} - 9.26) / 8\text{día} = 0.0125 \text{ cm/día}$$

$$TC14 = (9.52\text{cm} - 9.36\text{cm}) / 8 \text{ día} = 0.02 \text{ cm/ día.}$$

$$TC15 = (10.2 \text{ cm} - 9.52 \text{ cm}) / 8 \text{ día} = 0.085\text{cm/ día.}$$

$$TC16 = (10.39 \text{ cm} - 10.2\text{cm}) / 8 \text{ día} = 0.02375 \text{ cm/ día.}$$

$$TC17 = (10.61 \text{ cm} - 10.39\text{cm}) / 8 \text{ día} = 0.22 \text{ cm/ día.}$$

$$TC18 = (10.82\text{cm} - 10.61\text{cm}) / 8 \text{ día} = 0.02625 \text{ cm/ día.}$$

$$TC19 = (10.98\text{cm} - 10.82\text{cm}) / 8 \text{ día} = 0.02 \text{ cm/ día.}$$

$$TC20 = (11.15\text{cm} - 10.98 \text{ cm}) / 8 \text{ día} = 0.02125 \text{ cm/ día.}$$

$$TC21 = (11.98\text{cm} - 11.15\text{cm}) / 8 \text{ día} = 0.10375 \text{ cm/ día.}$$

$$TC22 = (12.52\text{cm} - 11.98\text{cm}) / 8 \text{ día} = 0.0675 \text{ cm/ día.}$$

$$TC23 = (12.69 \text{ cm} - 12.52 \text{ cm}) / 8 \text{ día} = 0.02125\text{cm/ día.}$$

$$TC24 = (13.54\text{cm} - 12.69 \text{ cm}) / 8 \text{ día} = 0.10625 \text{ cm/ día.}$$

$$TC25 = (13.71\text{cm} - 13.54\text{cm}) / 8 \text{ día} = 0.02125\text{cm/ día.}$$

$$TC26 = (13.91 \text{ cm} - 13.71 \text{ cm}) / 8 \text{ día} = 0.025 \text{ cm/ día.}$$

$$TC27 = (14.26 \text{ cm} - 13.91 \text{ cm}) / 10 \text{ día} = 0.04375 \text{ cm/ día.}$$

$$TC28 = (14.46\text{cm} - 14.26\text{cm}) / 8 \text{ día} = 0.025 \text{ cm/ día.}$$

$$TC29 = (14.53\text{cm} - 14.46\text{cm}) / 8 \text{ día} = 0.00875 \text{ cm/ día.}$$

$$TC30 = (14.9 \text{ cm} - 14.53\text{cm}) / 8 \text{ día} = 0.04625 \text{ cm/ día.}$$

$$TC31 = (15.15 \text{ cm} - 14.9\text{cm}) / 8 \text{ día} = 0.003125 \text{ cm/ día.}$$

$$TC32 = (15.2\text{cm} - 15.15\text{cm}) / 8 \text{ día} = 0.00625 \text{ cm/ día.}$$

$$TC33 = (15.24 \text{ cm} - 15.2 \text{ cm}) / 8 \text{ día} = 0.04 \text{ cm/ día.}$$

$$TC34 = (15.39\text{cm} - 15.24\text{cm}) / 8 \text{ día} = 0.01875 \text{ cm/ día.}$$

$$TC35 = (15.64\text{cm} - 15.39\text{cm}) / 8 \text{ día} = 0.03125 \text{ cm/ día}.$$

Se presentó mayor crecimiento por día en la medición 6, que corresponde a la semana número 6 en el mes de octubre del año 2016, con un promedio de ganancia de crecimiento de 1.02 cm con respecto a la medición anterior, de las 35 semanas del proyecto de investigación. Esto podría atribuirse a que el acumulado de precipitaciones fue mayor en dicho mes, con un promedio 116.7 mm.

6.7.2 Índice de área foliar.

IAF: 0.94

El tamaño de la hoja de la especie *Centrosema macrocarpum* en sus etapas de desarrollo, mediciones promedio desde el inicio de la aparición de hojas y el tamaño al final del proyecto en 8 meses; calculado ese valor es de 4.0 cm² aproximadamente.

Tabla 81.

Numero de hojas en cada una de las mediciones.

Medición	Numero de Plántulas	Número de Hojas
1	10	388
2	10	472
3	10	1045
4	10	1120
5	10	1280
6	10	1350
7	10	1810
8	10	1952

Fuente: Autor del proyecto

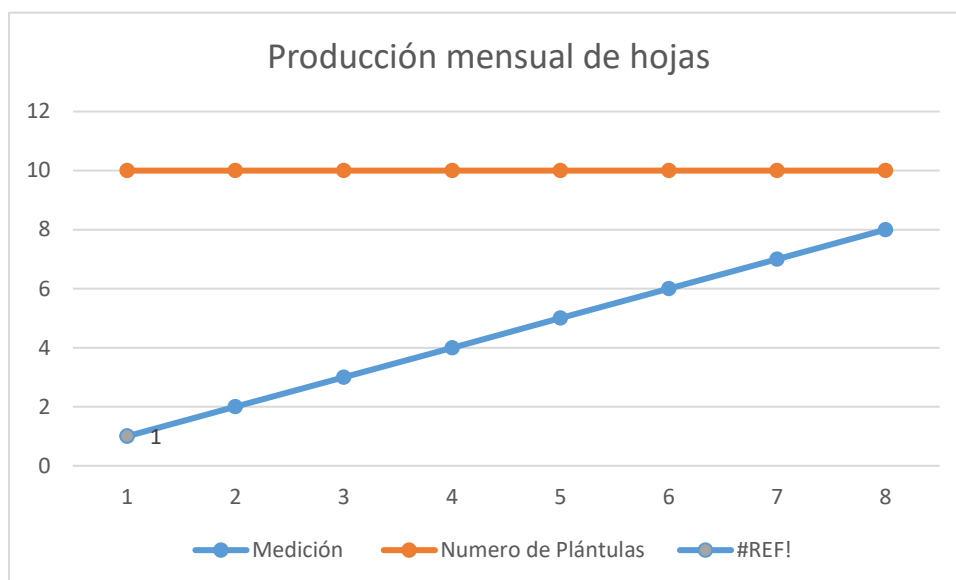


Figura 7. **Numero de hojas en cada una de las mediciones.**

Fuente: Autor del proyecto

El índice de área foliar para la medición 8 correspondiente a la última medición en el proyecto determinó que el área de cobertura en la parcela activa favorable con 0.94, que equivale a un porcentaje del 94%, que demuestra por su propiedad de leguminosa que sus ramas y hojas se extendieron dentro y en áreas cercanas a la parcela intervenida, demostrando de esta manera un cumplimiento a la meta de revegetalización herbácea y con posibilidades de aumento en mayor tiempo.

Se determina que el desarrollo foliar de la especie *Centrosema macrocarpum* en los primeros días después de su siembra y germinación es bajo, sin embargo, una vez la plántula alcanza un estado mayor de crecimiento en tamaño vertical aumenta la producción de hojas y tamaños de las mismas, es necesario considerar que esta especie leguminosa crece de manera

vertical alcanzando una altura en estas condiciones de 12 a 15 centímetros aproximadamente y su desempeño en crecimiento se orienta de manera horizontal, aportando a la cobertura del suelo en tallo, ramas y hojas, la producción de hojas aumenta, según los resultados obtenidos, alrededor del día 20 de la planta fija y germinada en el área de estudio y amplía la cobertura vegetal sobre su altura.

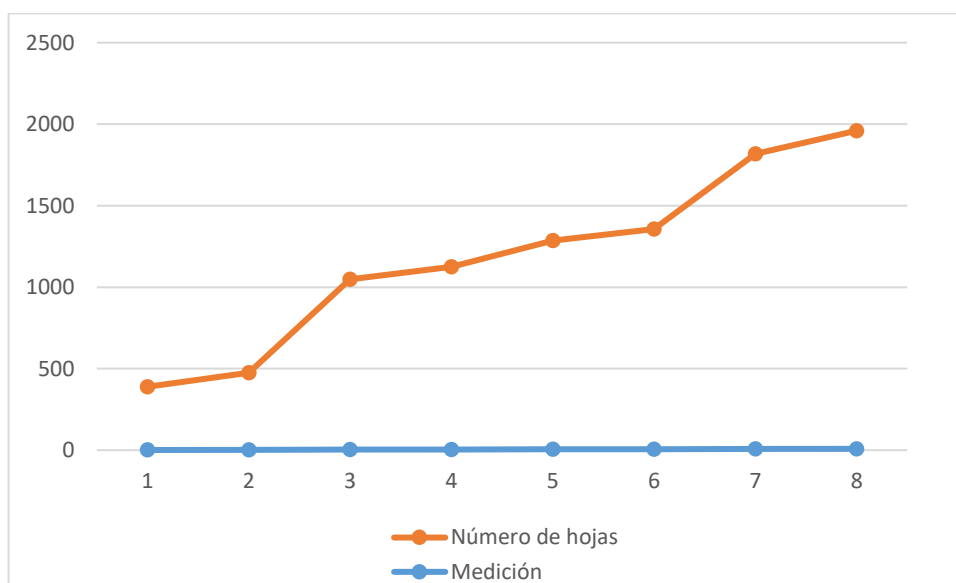


Figura 8. ***Desarrollo del número de hojas o desarrollo foliar de la parcela.***

El área foliar de la especie *Centrosema macrocarpum* durante los meses de estudio mostró un aumento en cuanto a la producción de hojas, con respecto a sus primeras etapas de desarrollo la especie demuestra su adaptación a las condiciones y aumenta su producción de hojas y longitud de ramas. En los primeros meses de estudio se evidencia la germinación y el crecimiento acelerado del tallo principal y baja la producción foliar y en el transcurso de los meses de medición entra noviembre y diciembre del año 2016 y los tres primeros meses del año 2017 se está evidencia el proceso de revegetalización de la parcela activa.

En la parcela pasiva que se intervino con labranza mínima no se evidenció ningún cambio en la germinación de especies ni colonización, y en la parcela de control ha presentado el desarrollo de especies como *Baccharis*, *Convolvulaceae* y *Brachiaria*, se podría atribuir por la dispersión natural de semillas en procesos de anemocoria, barocoria, o hidrocoria que transportan semillas existentes en sitios cercanos en el contexto de área de influencia directa del proyecto, pero no de activación de banco de semillas por el estado actual del suelo que en su análisis no demostró la presencia de especies en latencia.

Comparación con estudios realizados afines al proyecto.

Estudio real

Según los ingenieros agrónomos Jorge Carrasco y Jorge Vergara para el Centro Regional de Investigación Rayentué (INIA), de Santiago de Chile, exponen que las diversas alternativas o técnicas de control de erosión para controlar las escorrentías son fundamentales a la hora de frenar los procesos erosivos.

Las sabanas de *Trachypogon* venezolanas son usadas principalmente para ganadería extensiva, pero su producción de biomasa está limitada por la baja fertilidad de los suelos, empleando *centrosema macrocarpum*, se concluyó que algunas propiedades se ven favorecidas cuando el cultivo de cobertura es gramínea y otras cuando es leguminosa.

En el congreso internacional de pastizales de Kyoto 1985 (Schultze, 1985), *Centrosema macrocarpum* se destacan cualidades especiales como su distribución natural la cual cubre un amplio rango de latitudes y condiciones climáticas y edáficas de América tropical, además del crecimiento vigoroso en suelos ácidos de baja fertilidad natural, otros atributos sobresalientes de

centrosema macrocarpum son: la tolerancia a enfermedades y al estrés por sequía, también se demostró que la especie parece estar bien adaptados a suelos ácidos.

Estudio del caso

El índice de área foliar para la *Centrosema macrocarpum* es favorable con 0.94, que equivale a un porcentaje del 94%, que demuestra por su propiedad de leguminosa que sus ramas y hojas se extendieron dentro y en áreas cercanas a la parcela intervenida, demostrando de esta manera un cumplimiento a la meta de revegetalización herbácea y con posibilidades de aumento en mayor tiempo, el desarrollo foliar de la especie en los primeros días después de su siembra y germinación es bajo, sin embargo, una vez la plántula alcanza un estado mayor de crecimiento en tamaño vertical aumenta la producción de hojas y tamaños de las mismas, es necesario considerar que esta especie leguminosa crece de manera vertical alcanzando una altura en estas condiciones de 12 a 15 centímetros aproximadamente y su desempeño en crecimiento se orienta de manera horizontal, aportando a la cobertura del suelo en tallo, ramas y hojas, la producción de hojas aumenta y demuestra adaptaciones a las condiciones climáticas, aportando a la fijación de nitrógeno y nutrientes al suelo junto a la adhesión de las partículas presentes en el mismo, interrumpiendo los procesos de intemperización, contribuyendo a la recuperación de la cobertura vegetal y propiedades ecológicas del suelo, en las diferentes parcelas de trabajo esta tuvo una germinación favorable dadas a las condiciones naturales a las que fueron sometidas, a pesar de que han competido con insectos su desarrollo se mantiene en el lugar. Inicialmente la especie presentó un crecimiento acelerado después de la germinación y posterior a esto disminuyó su crecimiento vertical y aumento el crecimiento horizontal en sus ramas y producción foliar que

demuestra la capacidad rápida de establecerse y cubrir el suelo. En la actualidad el índice foliar demostró un mayor porcentaje posiblemente por las altas y frecuentes precipitaciones por ser zona de comportamiento climático bimodal que contribuye de manera directa al crecimiento y desarrollo de la especie.

Comparación

El estudio se realizó en un suelo con un grado erosión severa, sin capacidad de infiltración, baja productividad y escaso contenido de materia orgánica a partir de esto se dio inicio a la ejecución del proyecto de recuperación de la cobertura vegetal con la especie *Centrosema macrocarpum*, es considerada como una leguminosa, que aporta a la fijación de nitrógeno y nutrientes al suelo junto con la adhesión de las partículas presentes en el mismo, interrumpiendo los procesos de intemperización, contribuyendo a la recuperación de la cobertura vegetal y propiedades ecológicas del suelo, adaptándose a la condiciones climáticas para el bosque seco tropical, se obtuvo una germinación de 82% en las plántulas de *Centrosema macrocarpum*, esta especie es viable para el proceso de recuperación de la cobertura vegetal herbácea en suelos altamente erosionados y en condiciones sub-xerofíticas, su capacidad de adaptación es alta por ser una especie naturalizada del bosque seco tropical.

Los estudios analizados en el estado de arte junto con el proyecto investigativo dan a confirmar la efectividad de la especie a la hora de recuperar suelos degradados.

6.8 Discusión

Basado en los resultados del comportamiento de la especie herbácea *Centrosema macrocarpum* se confirma la capacidad de germinación y establecimiento en suelos intemperizados y pobres de nutrientes con alto grado de erosión (Ver Tabla 8.) causado por factores antrópicos y añadidos a factores climáticos; las condiciones climáticas afectan directamente al rápido crecimiento y se demuestra el proceso de revegetalización bajo condiciones extremas, en los meses de bajas precipitaciones y altas temperaturas (Ver figura 4.) el desarrollo es lento (Ver Tabla 12) y en los meses de precipitaciones frecuentes se demuestra el rápido crecimiento (Ver Tabla 35) y cobertura vegetal que logra con el aprovechamiento de esas condiciones favorables, así mismo, resiste a condiciones extremas y logra establecerse para cubrir de vegetación el suelo sin aportes de materia orgánica u otro mecanismo de manejo ambiental, siendo lento el proceso de revegetalización es importante reconocer que se logra establecer y cumplir con el cubrimiento del suelo de vegetación herbácea que en su comportamiento natural contribuye a las propiedades ecológicas del suelo que se prepara para adoptar vegetación arbórea y arbustiva autóctona de este bioma; este método de revisión teórica para la escogencia de la especie que impida modificar las condiciones naturales y aporte a la tecnología para la sucesión secundaria en el bosque seco, permite iniciar un proceso de restauración ecológica como prueba piloto que a largo plazo se conforme la conectividad deseada y la homogeneidad en el paisaje que disminuye el efecto borde y define un paisaje característico de bosque seco tropical con un grado menor de fragmentación y se incluye dentro de áreas de conservación de la red nacional de jardines botánicos de Colombia bajo la administración de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña.

Capítulo 9: Conclusiones

Si es conveniente iniciar un proceso de cobertura vegetal herbácea con el uso de la especie *Centrosema macrocarpum*, porque mejora las condiciones físicas del suelo y permite el establecimiento de vegetación que conduce a mediano y largo plazo una restauración ecológica de las condiciones del bosque seco tropical con el uso de arbustos y árboles nativos que podrían conformar atributos originales hasta el máximo grado factible, fortaleciendo su conservación.

A partir de los resultados obtenidos de los análisis del suelo de textura, macronutrientes y micronutrientes, además de los climatológicos y fotointerpretación, en el segundo semestre del año 2016, se identificó un suelo con un grado erosión severa, sin capacidad de infiltración, baja productividad y escaso contenido de materia orgánica, a partir de esto se dio inicio a la ejecución del proyecto de recuperación de la cobertura vegetal con la especie *Centrosema macrocarpum*, es considerada como una leguminosa, que aporta a la fijación de nitrógeno y nutrientes al suelo junto con la adhesión de las partículas presentes en el mismo, interrumpiendo los procesos de intemperización, contribuyendo a la recuperación de la cobertura vegetal y propiedades ecológicas del suelo, adaptándose a la condiciones climáticas para el bosque seco tropical que oscilan de 250 mm a 2000 mm, con temperatura mayores a 17°C. Además durante el avance de los procesos realizados en las diferentes parcelas, objetos de trabajo, se obtuvo una germinación de 82% en las plántulas de *Centrosema macrocarpum* que se sembraron *ex situ*, por otra parte el crecimiento de esta especie ha sido favorable dadas las condiciones naturales a las que fueron sometidas. Inicialmente la especie presentó un crecimiento acelerado después de la germinación y posterior a esto disminuyó su crecimiento vertical y aumento el crecimiento horizontal en sus ramas y producción foliar que demuestra la capacidad rápida de establecerse y cubrir el suelo. En

la actualidad el índice foliar demostró un mayor porcentaje posiblemente por las altas y frecuentes precipitaciones por ser zona de comportamiento climático bimodal que contribuye de manera directa al crecimiento y desarrollo de la especie.

La especie *Centrosema macrocarpum*, es viable para el proceso de recuperación de la cobertura vegetal herbácea (tablas de crecimiento que se encuentran plasmada en los resultados) en suelos altamente erosionados y en condiciones sub-xerofíticas, su capacidad de adaptación es alta por ser una especie naturalizada del bosque seco tropical (bs-T). Por lo anterior, se recomienda, por su rendimiento, implementar la especie estudiada en procesos de recuperación de cobertura vegetal para el área de influencia de la Universidad y la provincia de Ocaña que se encuentre dentro de este bioma en particular, porque requiere un mínimo de inversión y no que no es necesario implementar sistemas de riego, ni abonos, ni fertilizantes para el crecimiento y desarrollo de la especie que utiliza las condiciones naturales como soporte a fases importantes de la restauración ecológica y propiedades del suelo que permita el establecimiento de bosque secundario que a futuro propenda por el ofrecimiento de servicios ambientales y conservación de los recursos naturales específicos.

Referencias

- Janzen Daniel H. (1988). Tropical ecological and biocultural *restoration*. Science (AAAS) 239:243-244. Washington, USA.
- Redford, K.H., Taber, A. y Simonetti, I.A. (1990). *There is more to biodiversity than the tropical rain forest*. Conservation Biology, 4, 328-330. Mares, M.A. (1992). Neotropical mammals and the myth of amazonian biodiversity. Science, 255, 976-979
- Hellawell J. M. (1991). *Development of a rationale for monitoring*. En Goldsmith F. B. (ed.). Monitoring for conservation and ecology. Chapman and Hall. London. 1991.
- ICA. 1992. Protocolo para la toma de muestra de suelos. Quinta aproximación. Produmedios, Santafé de Bogotá.
- Etter, A. (1993). *Diversidad ecosistémica en Colombia hoy. En Nuestra diversidad biótica*. CERECy Fundación Alejandro Ángel Escobar. p. 43-61.
- Gentry, A. (1995). *Diversity and floristic composition of neotropical dry forests*.
- Murcia C. (1995). *Edge effects in fragmented forests: implications for conservation*. TREE vol. 10, no. 2 February. National Research Council 1992. SER 2004.
- Navas, Amezcuita, Ramírez y Gonzáles. (1995). *Manejo y conservación de suelos en Colombia*. Corpoica
- Instituto Alexander von Humboldt. (1998). *El Bosque seco Tropical (BsT) en Colombia*. Programa de Inventario de la biodiversidad. Grupo de Exploraciones y Monitoreo Ambiental GEMA 1998.

Mooney, H., S. Bullock & E. (2001). *Medina. Introduction*. 1-8 pp. In Bullock, S. H. Mooney y E.

Arcila Cardona Ángela María, Valderrama Ardila Carlos y Chacón de Ulloa Patricia. (2003). *Estado de fragmentación del bosque seco de la cuenca alta del río Cauca*. Colombia.

Carrasco J., Vergara J., (2003). *Técnicas y prácticas en el manejo de los recursos naturales para la recuperación de los suelos degradados de la VI región*; Centro Regional de Investigación Rayantué. p.45

Crawford P. y P. Bryce. (2003). *Project monitoring and evaluation: a method for enhancing the efficiency and effectiveness of aid project implementation*. International Journal of Project Management 21:363-373.

Guevara, Marcelo y Campos, Felipe. (2003). Identificación de Áreas Prioritarias para la Conservación de Cinco Ecorregiones en América Latina: GEF/1010-00-14. Valle del Cauca. Internet: https://campusvirtual.univalle.edu.co/.../Ecoregion_Choco-Darien.pdf. Citado el 12 de agosto de 2015. p.9

Francke, Vargas, Williams, Pinto y Yoma. (2004). *Recuperación de Suelos Degradados en el Marco del DL – 701 de Fomento Forestal* (Período 2000-2003) Segunda Edición.

Casanova, E. (2005). Introducción a la ciencia del suelo. Consejo de desarrollo científico y humanístico – Universidad central de Venezuela. Venezuela.

Miles, L., Newton, A.C., De Fries, R.S., Ravilious, C., May, L., Blyth, S. (2006). *A global overview of the conservation status of tropical dry forests*.

Oliveira-Filho. (2009). *Woody Plant Diversity, Evolution, and Ecology in the Tropics: Perspectives from Seasonally Dry Tropical Forests* 2009.

Ramos A. (2009). *El bosque seco tropical de Colombia está en peligro de extinción*. Según la organización ambientalista The Nature Conservancy (TNC). [Online] 25 de febrero de 2009. www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-4840222. Bogotá. 2015. Citado en julio 08 de 2015.

Sánchez Upegui. (2010). Introducción: *Qué es Caracterizar?*. Fundación Universitaria Católica del Norte.

Alvarado-García Virginia 1, Bermúdez-Rojas Tania 1, Romero-Vargas Marilyn 2, Piedra-Castro Liliana I. (2011). *Selección de plantas para el control de la erosión hídrica en Costa Rica mediante la metodología de criterio de expertos*.

Carrillo Fajardo, Merly Yenedith. (2012). *Caracterización florística y estructural del bosque seco tropical del cerro tasajero*, san José de Cúcuta-Norte de Santander, Colombia

Moreno Torres, Julio C. (2012) *Toma de muestras de suelos*. Universidad de los Llanos, laboratorio de suelos. Barcelona. p. 1-2

Valencia-Duarte, J.; Trujillo-Ortiz, L.N.; Ríos, O.V. (2012). *Dinámica de la vegetación en un enclave semiárido del río Chicamocha*. Colombia. Biota Colombiana 13 (2):40-69.

Francke C., (2013). *Boletín No. 25 del Simposio Nacional de la Ciencia del Suelo, Organizado por la sociedad chilena de la ciencia del suelo, centro de investigación en suelos volcánicos CISCVO y la universidad austral de chile*

Rodríguez M., Gómez A., (2013). 6º Congreso Forestal Español – 6CFE01-189, Sociedad Española de Ciencias Forestales.

- Molina, Pineda. (2014). *Comparación de la composición y diversidad de especies vegetales, en dos áreas de matorral seco subxerofítico, del área natural única los estoraques.*
- Pizano Camila, García, Hernando. (2014). *El bosque seco tropical en Colombia.* Instituto de Investigaciones de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt. Bogotá.
- Aguilar, Ramírez. (2015). *Procesos de restauración ecológica, aplicado a ecosistemas terrestres.* Ilustraciones de Alberto Rodríguez; traductor del portugués: Leyla E. - Bogotá D. C. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. .
- A, D. (2010). *Revegetacion de areas degradadas con especies nativas.* Obtenido de www.scielo.org.ar
- Andrades, M., & Martinez, E. (2014). *Fertilidad del Suelo y Parametros que la Definen.* Logroño: Universidad de la Rioja, Servicio de Publicaciones.
- Arcila, A. (2006). *Estado de fragmentacion del bosque seco de la cuenca alta del rio Cauca Colombia.*
- B., C. (1997). *Biología, agronomía y utilización.*
- Barioglio, C. (2006). *Diccionario de Las Ciencias Agropecuarias.*
- Bertha-von-Suttner. (2017). *k+s KALI.* Obtenido de http://www.kali-gmbh.com/eses/fertiliser/advisory_service/nutrients/sodium.html
- Carrasco, J. (2003). *Técnicas y prácticas en el manejo de los recursos naturales para la recuperación de los suelos degradados de la VI región Centro Regional de Investigación.* Rayantue.
- Carrillo, F. (2012). *Caracterización florística y estructural del bosque seco tropical del cerro tasajero, san Jose de Cucuta, Norte de Santander.*
- Centro internacional de agricultura tropical. (1997). *Centrosema: biología, agronomía y utilización.*
- Crawford, B. (2003). *Project monitoring and evaluation.*
- Dalmasso, A. D. (Junio de 2010). *Revegetacion de areas degradadas con especies nativas.* Obtenido de www.scielo.org.ar
- Degiovanni, V. (2010). *Producción eco eficiente del arroz en América Latina.*

- Espinoza, L. (2016). *Como interpretar los resultados de los analisis de suelos*.
- Espinoza, L., Nathan Slaton , & Morteza Mozaffari. (2016). *Como Interpretar los Resultados de los analisis de suelos*. Arkansas.
- Espinoza, N. (2016). *Como interpretar los resultados de los analisis de suelo*. Obtenido de <https://www.uaex.edu/publications/PDF/FSA-2118SP.pdf>.
- Etter, A. (1993). *En nuestra diversidad biotica* .
- Fajardo, L. (2013). *Restoration of a degraded tropical dry forest in Macanao*. Macano: Journal of Arid Evironmets.
- FAO. (2000). *Manual de practicas integradas de manejo y conservacion de suelos*. Obtenido de <ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/lw8s.pdf>
- FAO. (2010). *Evaluacion de la calidad de la semilla*.
- Ferraro, P. (2005). *Money for nothing? A call for empirical evaluation of biodiversity conservation investments*.
- Fonseca, C. (2010). *Plan estrategico para la restauracion Ecologica y el establecimiento de Bosques en Colombia*. Obtenido de [http://www.mamacoca.org/docs_de_base/Cifras_cuadro_mamacoca/pverde\[1\].pdf](http://www.mamacoca.org/docs_de_base/Cifras_cuadro_mamacoca/pverde[1].pdf)
- Garcia, A. (2011). *Seleccion de plantas para el control de la erosion hidrica en Costa Rica mediante la metodologia de criterio de expertos*.
- Garcia, F. (2003). *Curso básico de topografía: planimetría, agrimensura, altimetría*. Mexico: Editorial de Mexico.
- Gentry, A. (1995). *Diversity and floristic composition of neotropical dry forests*.
- Guevara, M. (2003). *Identificacion de areas prioritarias para la conservacion de*.
- Harvey, C. (2007). *Evaluacion y conservacion de biodiversidad en paisajes fragmentados de mesoamerica*.
- Harvey, C., & Sáenz, J. (2007). *Evaluación y conservación de biodiversidad en paisajes fragmentados de mesoamerica*.
- Hobbs, R. (1996). *Towards a conceptual framwork for restoration ecology*.
- Hudiel, S. (2008). *Manual de topografia altimetria*.
- Humbolt, I. d. (2014). *El bosque seco tropical en Colombia*. Obtenido de www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-4840222
- ICA. (s.f.).

- ICA. (1992). *Protocolo para la toma de muestra de suelos*. Santafe de Bogota: Promedios.
- Imeson, A. (2006). *La erosion del suelo*. Obtenido de http://geografia.fcsh.unl.pt/lucinda/booklets/b1_booklet_final_es.pdf
- Instituto Alexander Von Humboldt. (1998). *El Bosque seco tropical en Colombia*. Bogota: Grupo de Exploraciones y monitoreo ambiental GEMA.
- IPNI. (2016). *Controle la acidez y alcalinidad y aumente la fertiidad de su suelo*.
- Janzen, D. (1988). *Tropical ecological and biocultural restoration Sciencie*. Washington: USA.
- Jiménez, A. C. (2001). *Suelos Tropicales*. San José, Costa Rica.: Editorial Universidad Estatal a Distancia.
- K+S KALI. (s.f.). *K+S KALI*. Recuperado el 6 de mayo de 2017, de http://www.kali-gmbh.com/eses/fertiliser/advisory_service/nutrients/copper.html
- K+S KALI. (s.f.). *K+S KALI*. Recuperado el 13 de mayo de 2017, de http://www.kali-gmbh.com/eses/fertiliser/advisory_service/nutrients/copper.html
- Lobo, M. (2003). *Cual es la cantidad de semilla recomendada para sembrar una hectarea de pasto?* Obtenido de <http://www.platicar.go.cr/preguntas-frecuentes/ganaderia/121-cual-es-la-cantidad-de-semilla-recomendada-para-sembrar-una-hectarea-de-pasto>
- Lozano, Z. (2010). *Cambios en las propiedades quimicas de un suelo de sabana luego de la introduccion de pasturas mejoradas*.
- M., P. (2014). *Comparacion de la composicion y diversiad de especies vegetales, en dos areas de matorral seco subxerofitico del area unica los estoraques*.
- Martín, A. G., Campoy, M. R., & Vázquez, F. E. (1994). *Topografía básica para ingenieros*.
- Menes, M. (2009). *Control de Carvacas*. Obtenido de <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasCOUSSA/Control%20de%20carcavas.pdf>
- Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. (2015). *Plan nacional de restauracion ecologica, rehabilitacion y recuperacion de areas disturbadas*. 92. Bogota D.C., Colombia.
- Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. (2015). *Plan Nacional de restauracion ecologica, rehabilitacion y recuperacion de areas disturbadas*. Bogota D.C.: Ministerio.
- Molina, E. (2012). ACIDEZ DE SUELO Y ENCALADO. *Revista Colegio de Ingenieros Agrónomos.*, 1-3.
- Mooney, H. (2001). *Medina Introduction*.
- Moreno, J. (2012). *Toma de muestras de suelos*. Barcelona: Universidad de los Llanos.

- Murcia, C. (1995). *Edge effects in fragmented forests: implications for conservation*.
- Navas, A. (1995). *Manejo y conservacion de suelos en Colombia*. Corpoica.
- Navas, A. (1995). *Manejo y conservacion de suelos en Colombia*. Corpoica.
- Oliveira, F. (2009). *Woody Plant Diversity, Evolution and Ecology in the tropics*.
- opttonline. (2017). *opttonline.com*. Obtenido de <http://www.opttonline.com/z1r9e0yW/>
- Ospina, O. (2015). *Plan Nacional de Restauracion ecologica, rehabilitacion y recuperacion de areas disturbadas*. Obtenido de https://www.minambiente.gov.co/.../PLAN_NACIONAL_DE_RESTAUR
- Pennington, R. (2000). *Neotropical seasonally dry forest and Quaternary vegetation changes*.
- Peralta, M. (1995). *Edafologia*. Santiago de Chile: Universidad de Chile.
- Posada, F. C., & Avendaño, O. E. (2007). Estrés por aluminio en plantas: reacciones en el suelo, síntomas en vegetales y posibilidades de corrección. *REVISTA COLOMBIANA DE CIENCIAS HORTÍCOLAS*, 246-248.
- Purcell, D. (1975). Producción, almacenamiento y tratamiento de semillas de forrajeras. *Seminario Sobre Produccion De Semillas De Forrajeras*. Bogota, Colombia.
- Ramirez, A. (2015). *Procesos de restauracion ecologica, aplicado a ecosistemas terrestres*. Bogota : Von Humboldt.
- Ramos, A. (2009). *El bosque seco tropical de Colombia esta en peligro de extincion*. Obtenido de www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-4840222
- Rioja Molina, A. (2002). *Apuntes de Fitotecnica General*, E.U.I.T.A. Ciudad Real.
- Rioja, A. (2002). *Apuntes de Fitotecnica General*. Ciudad Real: EUITA.
- Rodriguez, M. (2013). 6° Congreso Forestal Español - 6CFE01-189.
- Sanchez, U. (2010). *Introduccion Que es Caracterizar*. Fundacion universitaria Catolica del Norte.
- Schultze, K. (1985). *Centrosema macrocarpum Benth a promising tropical forage legume for acid soils*.
- SER. (2004). *Restablecimiento de ecosistemas*. Obtenido de www.ser.org
- Sierra, C. (22 de Julio de 2016). *El Mercurio*. Recuperado el 6 de Mayo de 2017, de <http://www.elmercurio.com/Campo/Noticias/Analisis/2016/02/02/Una-relacion-intensa-El-hierro-el-suelo-y-las-plantas.aspx>

- Sierra, C. (28 de Diciembre de 2016). *El Mercurio*. Recuperado el 13 de Mayo de 2017, de La relacion entre el azufre, el suelo y las plantas:
www.elmercurio.com/Campo/Noticias/Analisis/2016/06/29/La-relacion-entre-el-azufre-el-suelo-y-las-plantas.aspx
- Sierra, C. (25 de agosto de 2016). *EL MERCURIO* . Recuperado el 6 de mayo de 2017, de
<http://www.elmercurio.com/Campo/Noticias/Analisis/2016/03/09/El-manganeso-el-suelo-y-las-plantas.aspx>
- SMART! (2017). *SAMART! Fertilizer Management*. Obtenido de SAMART! Fertilizer Management: <http://www.smart-fertilizer.com/es/articles/sodic-soils>
- Sosa, D. (1994). *Curso de capacitacion en produccion de yerba mate INTA* . Obtenido de
https://www.uaeh.edu.mx/nuestro_alumnado/icbi/doctorado/documentos/Aluminio%20un%20indicador%20de%20calidad.pdf
- Universidad de la Republica de Uruguay. (s.f.). *Facultad de Ciencias*. Obtenido de
<http://edafologia.fcien.edu.uy/archivos/Nutrientes%20del%20suelo.pdf>
- Universidad Nacional de Medellin. (2017). *Análisis de Suelos*. Medellin.
- Valencia, J. (2012). *Dinamica de la vegetacion en un enclave semiarido del Rio Chicamocha Colombia*.
- Vargas, F. (2004). *Recuperacion de suelos degradados en el marco del DL*. Segunda Edicion.
- Vargas, O. (2015). *Los pasos fundamentales en la restauracion ecologica*.
- Vargas, O. (2015). *Los pasos fundamentales en la restauracion ecologica*.
- Altieri, M., & Nicholls , C. (2009). Cambio Climático y Agricultura Campesina: impactos y respuestas adaptativas. *LEISA*, 3.
- Andrades, M., & Martinez, E. (2014). *Fertilidad del Suelo y Parametros que la Definen*. Logroño: Universidad de la Rioja, Servicio de Publicaciones.
- Castellanos, J. (2016). *www.Intagri.com* . Obtenido de
<https://www.intagri.com/articulos/suelos/la-capacidad-de-intercambio-cationico-del-suelo>

Ganadero, C. (2017). *La importancia de conocer la capacidad de intercambio en el suelo*.

Obtenido de contexto ganadero : <http://www.contextoganadero.com/ganaderia-sostenible/la-importancia-de-conocer-la-capacidad-de-intercambio-cationico-del-suelo>

K+S KALI. (s.f.). *K+S KALI*. Obtenido de [http://www.kali-](http://www.kali-gmbh.com/eses/fertiliser/advisory_service/nutrients/zink.html)

[gmbh.com/eses/fertiliser/advisory_service/nutrients/zink.html](http://www.kali-gmbh.com/eses/fertiliser/advisory_service/nutrients/zink.html)

Lozano P, Z., Hernandez Hernandez, R. M., Bravo , C., Rivero , C., Toro, M., & Delgado , M. (2012). Disponibilidad de fósforo en un suelo de las sabanas bien drenadas venezolanas, bajo diferentes coberturas y tipos de fertilizacion. *Redalyc*, 4.

Puertas , F., Arévalo, E., Zuñiga, L., Alegre, J., Loli, O., Soplin, H., & Baligar, V. (2008).

ESTABLECIMIENTO DE CULTIVOS DE COBERTURA Y EXTRACCIÓN TOTAL DE NUTRIENTES EN UN SUELO DE TRÓPICO HÚMEDO EN LA AMAZONÍA PERUANA. *Scielo*, 26.

Roldán, M., Venialgo, C., & Gutierrez, N. (2004). *Universidad del Nordeste*. Obtenido de <http://200.45.54.140/unnevieja/Web/cyt/com2004/5-Agrarias/A-072.pdf>

Sierra, C. (22 de Julio de 2016). *El Mercurio*. Recuperado el 6 de Mayo de 2017, de <http://www.elmercurio.com/Campo/Noticias/Analisis/2016/02/02/Una-relacion-intensa-El-hierro-el-suelo-y-las-plantas.aspx>

Sierra, C. (28 de Diciembre de 2016). *El Mercurio*. Recuperado el 13 de Mayo de 2017, de La relacion entre el azufre, el suelo y las plantas:
www.elmercurio.com/Campo/Noticias/Analisis/2016/06/29/La-relacion-entre-el-azufre-el-suelo-y-las-plantas.aspx

Thompson, L., & Troeh, F. (1988). *Los suelos y su fertilidad*. Reverté.

- A, D. (2010). *Revegetacion de areas degradadas con especies nativas*. Obtenido de www.scielo.org.ar
- Andrades, M., & Martinez, E. (2014). *Fertilidad del Suelo y Parametros que la Definen*. Logroño: Universidad de la Rioja, Servicio de Publicaciones.
- Arcila, A. (2006). *Estado de fragmentacion del bosque seco de la cuenca alta del rio Cauca Colombia*.
- B., C. (1997). *Biologia, agronomia y utilizacion*.
- Barioglio, C. (2006). *Diccionario de Las Ciencias Agropecuarias*.
- Bertha-von-Suttner. (2017). *k+s KALI*. Obtenido de http://www.kali-gmbh.com/eses/fertiliser/advisory_service/nutrients/sodium.html
- Carrasco, J. (2003). *Tecnicas y practicas en el manejo de los recursos naturales para la recuperacion de los suelos degradados de la VI region Centro Regiona de Investigacion*. Rayantue.
- Carrillo, F. (2012). *Caracterizaci3n floristica y estructural del bosque seco tropical del cerro tasajero, san Jose de Cucuta, Norte de Santander*.
- Centro internacional de agricultura tropical. (1997). *Centrosema: biologia, agronomia y utilizacion*.
- Crawford, B. (2003). *Project monitoring and evaluation*.
- Dalmasso, A. D. (Junio de 2010). *Revegetacion de areas degradadas con especies nativas*. Obtenido de www.scielo.org.ar
- Degiovanni, V. (2010). *Produccion eco eficiente del arroz en America Latina*.
- Espinoza, L. (2016). *Como interpretar los resultados de los analisis de suelos*.
- Espinoza, L., Nathan Slaton , & Morteza Mozaffari. (2016). *Como Interpretar los Resultados de los analisis de suelos*. Arkansas.
- Espinoza, N. (2016). *Como interpretar los resultados de los analisis de suelo*. Obtenido de <https://www.uaex.edu/publications/PDF/FSA-2118SP.pdf>.
- Etter, A. (1993). *En nuestra diversidad biotica* .
- Fajardo, L. (2013). *Restoration of a degraded tropical dry forest in Macanao*. Macano: Journal of Arid Evironmets.
- FAO. (2000). *Manual de practicas integradas de manejo y conservacion de suelos*. Obtenido de <ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/lw8s.pdf>

- FAO. (2010). *Evaluacion de la calidad de la semilla*.
- Ferraro, P. (2005). *Money for nothing? A call for empirical evaluation of biodiversity conservation investments*.
- Fonseca, C. (2010). *Plan estrategico para la restauracion Ecologica y el establecimiento de Bosques en Colombia*. Obtenido de [http://www.mamacoca.org/docs_de_base/Cifras_cuadro_mamacoca/pverde\[1\].pdf](http://www.mamacoca.org/docs_de_base/Cifras_cuadro_mamacoca/pverde[1].pdf)
- Garcia, A. (2011). *Seleccion de plantas para el control de la erosion hidrica en Costa Rica mediante la metodologia de criterio de expertos*.
- Garcia, F. (2003). *Curso básico de topografía: planimetría, agrimensura, altimetría*. Mexico: Editorial de Mexico.
- Gentry, A. (1995). *Diversity and floristic composition of neotropical dry forests*.
- Guevara, M. (2003). *Identificacion de areas prioritarias para la conservacion de*.
- Harvey, C. (2007). *Evaluacion y conservacion de biodiversidad en paisajes fragmentados de mesoamerica*.
- Harvey, C., & Sáenz, J. (2007). *Evaluación y conservación de biodiversidad en paisajes fragmentados de mesoamerica*.
- Hobbs, R. (1996). *Towards a conceptual framwork for restoration ecology*.
- Hudiel, S. (2008). *Manual de topografia altimetria*.
- Humbolt, I. d. (2014). *El bosque seco tropical en Colombia*. Obtenido de www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-4840222
- ICA. (s.f.).
- ICA. (1992). *Protocolo para la toma de muestra de suelos*. Santafe de Bogota: Promedios.
- Imeson, A. (2006). *La erosion del suelo*. Obtenido de http://geografia.fcsh.unl.pt/lucinda/booklets/b1_booklet_final_es.pdf
- Instituto Alexander Von Humboldt. (1998). *El Bosque seco tropical en Colombia* . Bogota: Grupo de Exploraciones y monitoreo ambiental GEMA .
- IPNI. (2016). *Controle la acidez y alcalinidad y aumente la fertiidad de su suelo*.
- Janzen, D. (1988). *Tropical ecological and biocultural restoration Sciencie*. Washington: USA.
- Jiménez, A. C. (2001). *Suelos Tropicales*. San José, Costa Rica.: Editorial Universidad Estatal a Distancia.

- K+S KALI. (s.f.). K+S KALI. Recuperado el 6 de mayo de 2017, de http://www.kali-gmbh.com/eses/fertiliser/advisory_service/nutrients/copper.html
- K+S KALI. (s.f.). K+S KALI. Recuperado el 13 de mayo de 2017, de http://www.kali-gmbh.com/eses/fertiliser/advisory_service/nutrients/copper.html
- Lobo, M. (2003). *Cual es la cantidad de semilla recomendada para sembrar una hectarea de pasto?* Obtenido de <http://www.platicar.go.cr/preguntas-frecuentes/ganaderia/121-cual-es-la-cantidad-de-semilla-recomendada-para-sembrar-una-hectarea-de-pasto>
- Lozano, Z. (2010). *Cambios en las propiedades quimicas de un suelo de sabana luego de la introduccion de pasturas mejoradas.*
- M., P. (2014). *Comparacion de la composicion y diversidad de especies vegetales, en dos areas de matorral seco subxerofitico del area unica los estoraques.*
- Martín, A. G., Campoy, M. R., & Vázquez, F. E. (1994). *Topografía básica para ingenieros.*
- Menes, M. (2009). *Control de Carvacas.* Obtenido de <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasCOUSSA/Control%20de%20carcavas.pdf>
- Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. (2015). *Plan nacional de restauracion ecologica, rehabilitacion y recuperacion de areas disturbadas.* 92. Bogota D.C., Colombia.
- Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. (2015). *Plan Nacional de restauracion ecologica, rehabilitacion y recuperacion de areas disturbadas.* Bogota D.C.: Ministerio.
- Molina, E. (2012). ACIDEZ DE SUELO Y ENCALADO. *Revista Colegio de Ingenieros Agrónomos.*, 1-3.
- Mooney, H. (2001). *Medina Introduction.*
- Moreno, J. (2012). *Toma de muestras de suelos.* Barcelona: Universidad de los Llanos.
- Murcia, C. (1995). *Edge effects in fragmented forests: implications for conservation.*
- Navas, A. (1995). *Manejo y conservacion de suelos en Colombia.* Corpoica.
- Navas, A. (1995). *Manejo y conservacion de suelos en Colombia.* Corpoica.
- Oliveira, F. (2009). *Woody Plant Diversity, Evolution and Ecology in the tropics.*
- opttonline. (2017). *opttonline.com.* Obtenido de <http://www.opttonline.com/z1r9e0yW/>
- Ospina, O. (2015). *Plan Nacional de Restauracion ecologica, rehabilitacion y recuperacion de areas disturbadas.* Obtenido de https://www.minambiente.gov.co/.../PLAN_NACIONAL_DE_RESTAUR

- Pennington, R. (2000). *Neotropical seasonally dry forest and Quaternary vegetation changes*.
- Peralta, M. (1995). *Edafologia*. Santiago de Chile: Universidad de Chile.
- Posada, F. C., & Avendaño, O. E. (2007). Estrés por aluminio en plantas: reacciones en el suelo, síntomas en vegetales y posibilidades de corrección. *REVISTA COLOMBIANA DE CIENCIAS HORTÍCOLAS*, 246-248.
- Purcell, D. (1975). Producción, almacenamiento y tratamiento de semillas de forrajeras. *Seminario Sobre Produccion De Semillas De Forrajeras*. Bogota, Colombia.
- Ramirez, A. (2015). *Procesos de restauracion ecologica, aplicado a ecosistemas terrestres*. Bogota : Von Humboldt.
- Ramos, A. (2009). *El bosque seco tropical de Colombia esta en peligro de extincion*. Obtenido de www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-4840222
- Rioja Molina, A. (2002). *Apuntes de Fitotecnica General*, E.U.I.T.A. Ciudad Real.
- Rioja, A. (2002). *Apuntes de Fitotecnica General*. Ciudad Real: EUITA.
- Rodriguez, M. (2013). 6° Congreso Forestal Español - 6CFE01-189.
- Sanchez, U. (2010). *Introduccion Que es Caracterizar*. Fundacion universitaria Catolica del Norte.
- Schultze, K. (1985). *Centrosema macrocarpum Benth a promising tropical forage legume for acid soils*.
- SER. (2004). *Restablecimiento de ecosistemas*. Obtenido de www.ser.org
- Sierra, C. (22 de Julio de 2016). *El Mercurio*. Recuperado el 6 de Mayo de 2017, de <http://www.elmercurio.com/Campo/Noticias/Analisis/2016/02/02/Una-relacion-intensa-El-hierro-el-suelo-y-las-plantas.aspx>
- Sierra, C. (28 de Diciembre de 2016). *El Mercurio*. Recuperado el 13 de Mayo de 2017, de La relacion entre el azufre, el suelo y las plantas: www.elmercurio.com/Campo/Noticias/Analisis/2016/06/29/La-relacion-entre-el-azufre-el-suelo-y-las-plantas.aspx
- Sierra, C. (25 de agosto de 2016). *EL MERCURIO* . Recuperado el 6 de mayo de 2017, de <http://www.elmercurio.com/Campo/Noticias/Analisis/2016/03/09/El-manganeso-el-suelo-y-las-plantas.aspx>
- SMART! (2017). *SAMART! Fertilizer Management*. Obtenido de SAMART! Fertilizer Management: <http://www.smart-fertilizer.com/es/articles/sodic-soils>

- Sosa, D. (1994). *Curso de capacitacion en produccion de yerba mate INTA* . Obtenido de https://www.uaeh.edu.mx/nuestro_alumnado/icbi/doctorado/documentos/Aluminio%20un%20indicador%20de%20calidad.pdf
- Universidad de la Republica de Uruguay. (s.f.). *Facultad de Ciencias*. Obtenido de <http://edafologia.fcien.edu.uy/archivos/Nutrientes%20del%20suelo.pdf>
- Universidad Nacional de Medellin. (2017). *Análisis de Suelos*. Medellin.
- Valencia, J. (2012). *Dinamica de la vegetacion en un enclave semiarido del Rio Chicamocha Colombia*.
- Vargas, F. (2004). *Recuperacion de suelos degradados en el marco del DL*. Segunda Edicion.
- Vargas, O. (2015). *Los pasos fundamentales en la restauracion ecologica*.
- Vargas, O. (2015). *Los pasos fundamentales en la restauracion ecologica*.
- Andrades, M., & Martinez, E. (2014). *Fertilidad del Suelo y Parametros que la Definen*. Logroño: Universidad de la Rioja, Servicio de Publicaciones.
- FAO. (2002). Recuperado el 6 de Mayo de 2017, de LOS FERTILIZANTES Y SU USO : <http://www.fao.org/3/a-x4781s.pdf>
- IBAÑEZ, J. J. (5 de JULIO de 2006). *La Fundación para el Conocimiento madri+d*. Obtenido de MADRI+D UN UNIVERSO INVISIBLE BAJO NUESTROS PIES : <http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2006/07/05/33887>
- Instituto de la Potasa y el Fosforo. (mayo de 2000). *INFORMACIONES*. Obtenido de [http://www.ipni.net/ppiweb/iamex.nsf/\\$webindex/B67F9E57B4ED257106256AD100605952/\\$file/ia+com+4-2.pdf](http://www.ipni.net/ppiweb/iamex.nsf/$webindex/B67F9E57B4ED257106256AD100605952/$file/ia+com+4-2.pdf)
- Intagri. (12 de Febrero de 2016). *Intercambio Cationico del Suelo*. Obtenido de <https://www.intagri.com/articulos/suelos/la-capacidad-de-intercambio-cationico-del-suelo>

- Julca Otiniano, A., Meneses Florián, L., Blas Sevillano, R., & Bello Amez, S. (2006). LA MATERIA ORGÁNICA, IMPORTANCIA Y EXPERIENCIA DE SU USO EN LA AGRICULTURA. *SciELO*.
- K+S KALI. (s.f.). *K+S KALI*. Recuperado el 6 de mayo de 2017, de http://www.kali-gmbh.com/eses/fertiliser/advisory_service/nutrients/copper.html
- Lozano, Z., Rivero, C., Bravo, C., & Hernandez, R. (2011). Fracciones de la Materia Organica del Suelo Bajo Sistemas de Siembra Directa y Cultivos de Cobertura. *Revista Facultad de Agronomía LUZ*, 53.
- Noriega Toledo, V. M. (Febrero de 2011). Recuperado el 05 de Mayo de 2017, de MANEJO Y FERTILIDAD DE SUELOS : <http://www.ambientalex.info/guias/manejoyfertilidaddesuelos.pdf>
- Andrades, M., & Martinez, E. (2014). *Fertilidad del Suelo y Parametros que la Definen*. Logroño: Universidad de la Rioja, Servicio de Publicaciones.
- FAO. (2002). Recuperado el 6 de Mayo de 2017, de LOS FERTILIZANTES Y SU USO : <http://www.fao.org/3/a-x4781s.pdf>
- IBAÑEZ, J. J. (5 de JULIO de 2006). *La Fundación para el Conocimiento madri+d*. Obtenido de MADRI+D UN UNIVERSO INVISIBLE BAJO NUESTROS PIES : <http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2006/07/05/33887>
- Instituto de la Potasa y el Fosforo. (mayo de 2000). *INFORMACIONES*. Obtenido de [http://www.ipni.net/ppiweb/iamex.nsf/\\$webindex/B67F9E57B4ED257106256AD100605952/\\$file/ia+com+4-2.pdf](http://www.ipni.net/ppiweb/iamex.nsf/$webindex/B67F9E57B4ED257106256AD100605952/$file/ia+com+4-2.pdf)

- Intagri. (12 de Febrero de 2016). *Intercambio Cationico del Suelo*. Obtenido de <https://www.intagri.com/articulos/suelos/la-capacidad-de-intercambio-cationico-del-suelo>
- Julca Otiniano, A., Meneses Florián, L., Blas Sevillano, R., & Bello Amez, S. (2006). LA MATERIA ORGÁNICA, IMPORTANCIA Y EXPERIENCIA DE SU USO EN LA AGRICULTURA. *SciELO*.
- K+S KALI. (s.f.). K+S KALI. Recuperado el 6 de mayo de 2017, de http://www.kali-gmbh.com/eses/fertiliser/advisory_service/nutrients/copper.html
- Lozano, Z., Rivero, C., Bravo, C., & Hernandez, R. (2011). Fracciones de la Materia Organica del Suelo Bajo Sistemas de Siembra Directa y Cultivos de Cobertura. *Revista Facultad de Agronomía LUZ*, 53.
- Noriega Toledo, V. M. (Febrero de 2011). Recuperado el 05 de Mayo de 2017, de MANEJO Y FERTILIDAD DE SUELOS : <http://www.ambientalex.info/guias/manejoyfertilidaddesuelos.pdf>
- opttonline. (2017). *opttonline.com*. Obtenido de <http://www.opttonline.com/z1r9e0yW/>
- R, R. C., & R, A. S. (1993). *Acidificacion de los suelos. Origen y mecanismos involucrados*. Obtenido de <http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/serieactas/NR33853.pdf>
- Sierra, C. (22 de Julio de 2016). *El Mercurio*. Recuperado el 6 de Mayo de 2017, de <http://www.elmercurio.com/Campo/Noticias/Analisis/2016/02/02/Una-relacion-intensa-El-hierro-el-suelo-y-las-plantas.aspx>
- Sierra, C. (25 de agosto de 2016). *EL MERCURIO* . Recuperado el 6 de mayo de 2017, de <http://www.elmercurio.com/Campo/Noticias/Analisis/2016/03/09/El-manganeso-el-suelo-y-las-plantas.aspx>

SMART! (2017). *SAMART! Fertilizer Management*. Obtenido de SAMART! Fertilizer Management: <http://www.smart-fertilizer.com/es/articles/sodic-soils>

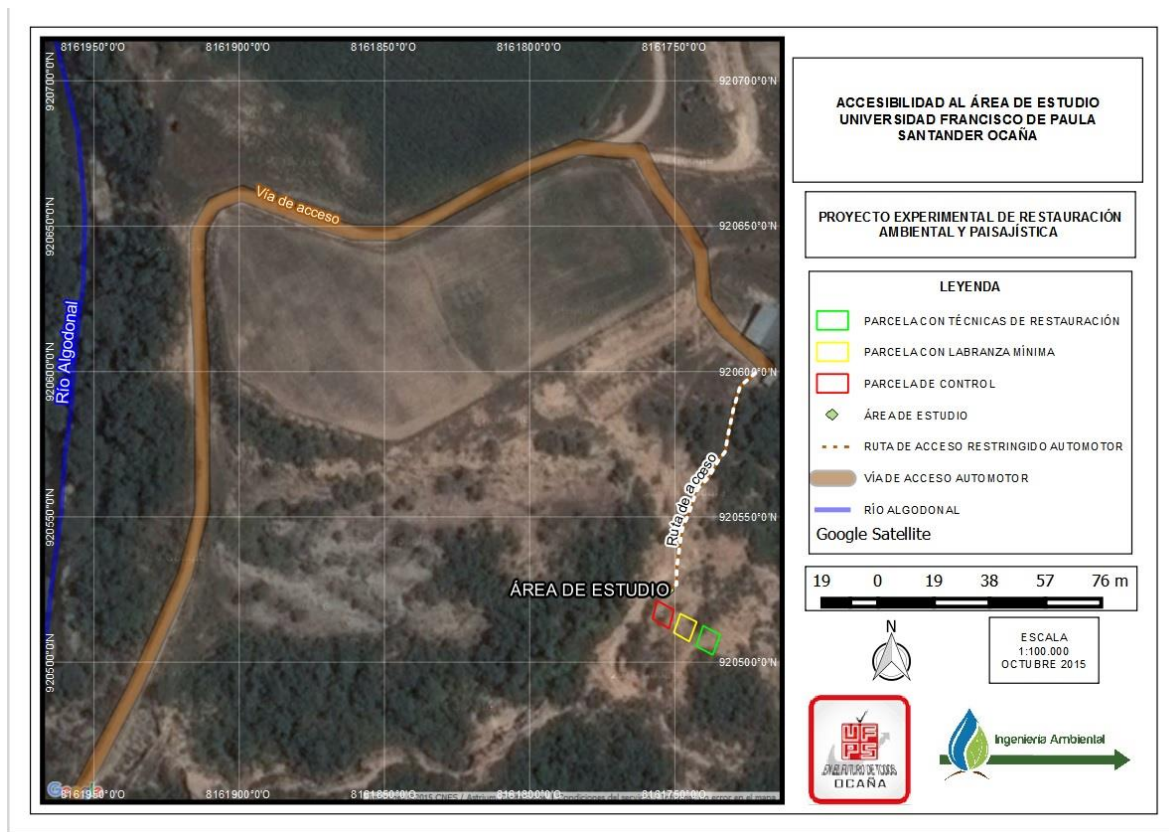
Suttner, B. v. (2017). *Grupo K+S*. Obtenido de http://www.kali-gmbh.com/eses/fertiliser/advisory_service/nutrients/zink.html

Universidad de Extremadura. (13 de abril de 2005). *Departamento de Biología y Producción de los vegetales área de Edafología y Química Agrícola*. Obtenido de <http://www.eweb.unex.es/eweb/edafo/ECAP/ECAL5PFQReaccion.htm>

Universidad de la República de Uruguay. (s.f.). *Facultad de Ciencias*. Obtenido de <http://edafologia.fcien.edu.uy/archivos/Nutrientes%20del%20suelo.pdf>

Apéndice

Apéndice A.

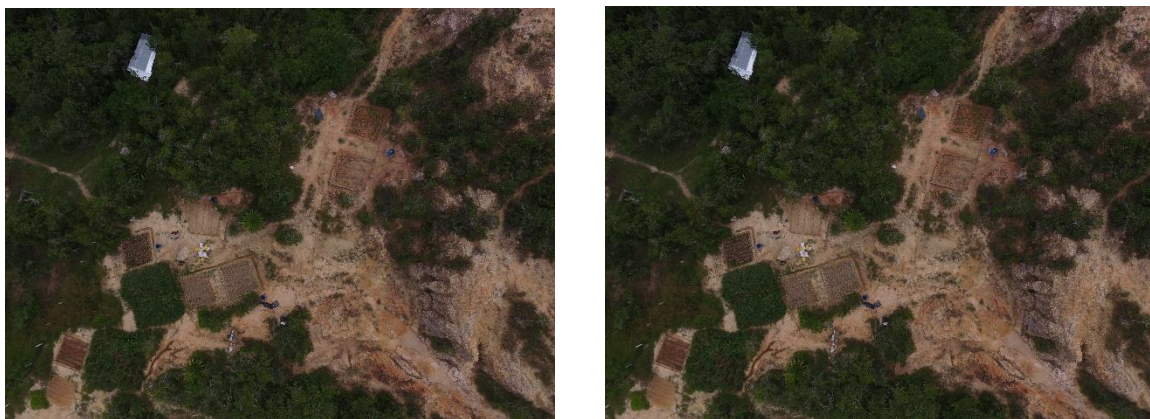


Ruta de accesibilidad al área de estudio (metodología)

Fuente: Fotografía aérea soportada en el software Google earth 2015. Cartografía realizada por el grupo de investigación RAP.

Apéndice B.

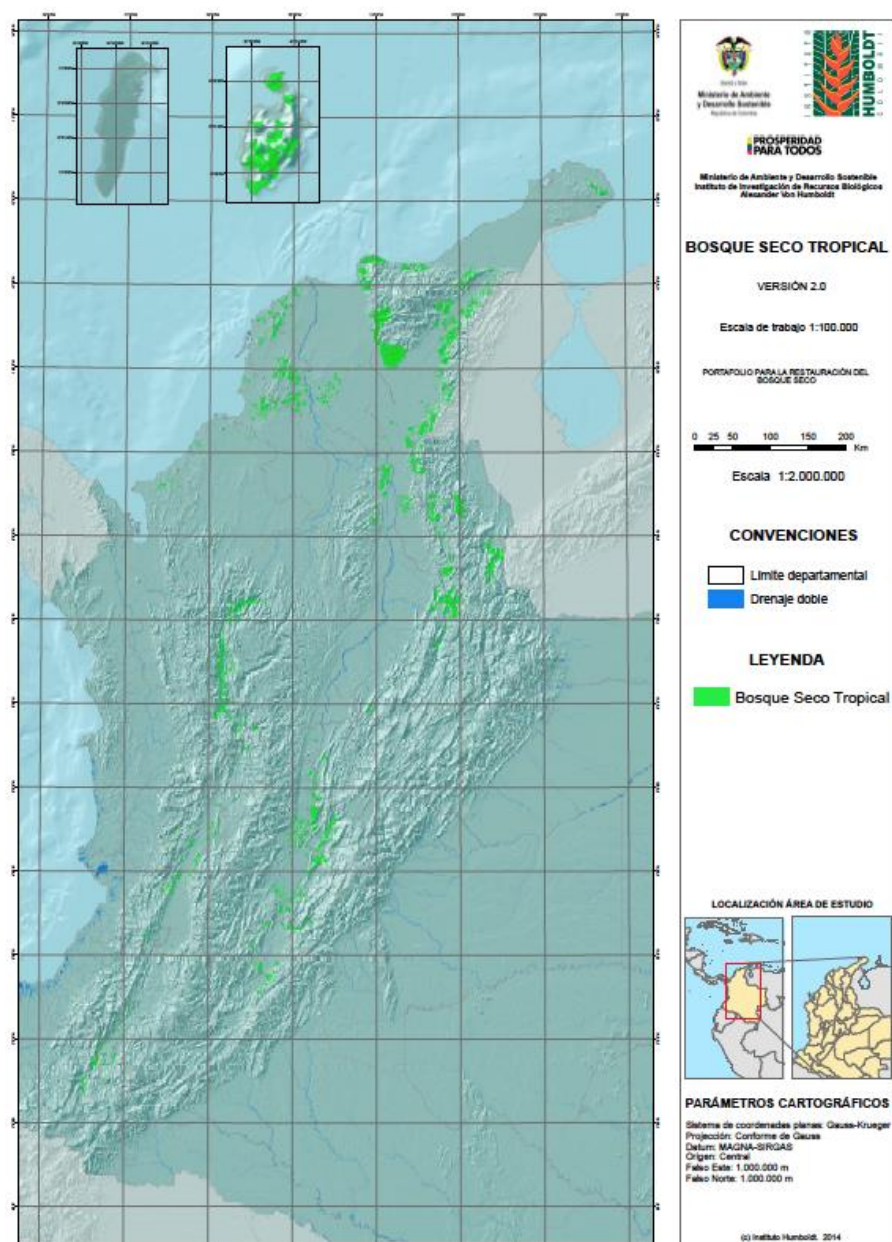
Fotografías aéreas (metodología)



Fuente: Foto-dron UFPSO Octubre 2015. Altura: 63 m Resolución: 68MP

Apéndice C.

Mapa bosque seco tropical bs-T (Marco teórico)



Fuente: Instituto Alexander Von Humb

Apéndice D.

Análisis fisicoquímicos del suelo, del 22 de marzo del 2017 (metodología)

Código	Identificación en el campo	Textura				pH	C.E. dSm-1	M.O. %	Al	Ca	Mg	K	Na	CICE	P	S	Fe	Mn	Cu	Zn	B	N-NO3	N-NH4	N
		A%	L%	Ar%	Clase																			
SP31139	Suelo Analisis Quimico Paquete 1	32	28	40	Ar	4.9	0.37	18.3	3.9	2.9	0.34	0.11	25.6	1	3	32	12	1	2	N.C.				

Fuente. Universidad Nacional de Medellín

Apéndice E.

Análisis fisicoquímicos del suelo, del 2 de mayo del 2017 (metodología)

Código	Identificación en el campo	Textura				pH	C.E. dSm-1	M.O. %	Al	Ca	Mg	K	Na	CICE	P	S	Fe	Mn	Cu	Zn	B	N-NO3	N-NH4	N
		A%	L%	Ar%	Clase																			
SP31293		72	4	24	FArA	4.7		0.05	3.5	0.14	0.06	0.11	0.03	3.8	4	8	2	1	0.5	0.1	N.C.			
Observaciones		SP31293*.Boro: no cuantificable --																						

Fuente: Universidad Nacional de Medellín

Apéndice F

Alturas promedio.

Tabla 92.

Medición 1. 03 de Septiembre de 2016. Altura promedio 3.35 cms

Plántula	Altura (cm)
1	6
2	3,5
3	1
4	1,5
5	3
6	6,5
7	5,5
8	2,5
9	1
10	3

Fuente: Autor

Tabla 103.

Medición 2. 10 de Septiembre de 2016. Altura promedio 4.45 cms

Plántula	Altura (cm)
1	6.4
2	3.8
3	1.7
4	1,7
5	3.4
6	8.4
7	5.7
8	8
9	2.1
10	3.3

Fuente: Autor.

Tabla 114.

Medición 3. 17 de Septiembre de 2016. Altura promedio 5.96 cms

Plántula	Altura (cm)
1	6.8
2	4.1
3	5,7
4	2,9
5	3,7
6	8,9
7	9
8	8,8
9	3,2
10	6,5

Fuente: Autor

Tabla 125.

Medición 4. 24 de Septiembre de 2016.. Altura promedio 6.2 cms

Plántula	Altura (cm)
1	6.8
2	4.2
3	5,9
4	3
5	4
6	9.3
7	9,6
8	8,9
9	3,5
10	6,8

Fuente: Autor

Tabla 136.

Medición 5. 01 de Octubre de 2016. Altura promedio 6.33 cms

Plántula	Altura (cm)
1	7.0
2	4.25
3	5.9
4	3.2
5	4.2
6	9.5
7	9.7
8	9.0
9	3.5
10	7.0

Fuente: Autor

Tabla 147.

Medición 6. 08 de Octubre de 2016. Altura promedio 7.35 cms

Plántula	Altura (cm)
1	7.1
2	4.8
3	9.5
4	3.6
5	4.7
6	10.4
7	12.6
8	9.4
9	3.9
10	7.5

Fuente: Autor

Tabla 18.

Medición 7. 15 de Octubre de 2016. Altura promedio 7.65 cms

Plántula	Altura (cm)
1	7.6
2	4.8
3	9.7
4	4.0
5	4.7
6	10.5
7	13.0
8	9.4
9	4.7
10	8.1

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 19.

Medición 8. 22 de Octubre de 2016. Altura promedio 8.48 cms

Plántula	Altura (cm)
1	9.7
2	5.6
3	10.2
4	4.2
5	6.0
6	11.3
7	13.8
8	9.4
9	5.0
10	9.6

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 150.

Medición 9. 29 de Octubre de 2016. Altura promedio 8.67 cms

Plántula	Altura (cm)
1	9.8
2	5.9
3	10.5
4	4.2
5	6.2
6	11.5
7	14.0
8	9.6
9	5.2
10	9.8

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 161.

Medición 10. 05 de Noviembre de 2016. Altura promedio 8.81 cms

Plántula	Altura (cm)
1	9.8
2	6.1
3	10.7
4	4.5
5	6.2
6	11.8
7	14.2
8	9.8
9	5.2
10	9.8

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 172.

Medición 11. 12 de Noviembre de 2016. Altura promedio 8.95 cms

Plántula	Altura (cm)
1	10.2
2	6.2
3	11.0
4	4.6
5	6.3
6	11.9
7	14.2
8	9.9
9	5.4
10	9.8

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 183.

Medición 12. 19 de Noviembre de 2016.. Altura promedio 9.26 cms

Plántula	Altura (cm)
1	10.2
2	6.3
3	11.5
4	4.8
5	6.5
6	12.0
7	14.5
8	10.0
9	5.8
10	11.0

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 194.

Medición 13. 26 de Noviembre 2016. Altura promedio 9.36 cms

Plántula	Altura (cm)
1	10.4
2	6.5
3	11.7
4	4.8
5	6.5
6	12.0
7	14.6
8	10.1
9	5.9
10	11.1

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 205.

Medición 14. 03 de Diciembre 2016. Altura promedio 9.52 cms

Plántula	Altura (cm)
1	10.4
2	6.8
3	11.8
4	4.9
5	6.6
6	12.5
7	15.0
8	10.1
9	5.9
10	11.2

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 216.

Medición 15. 10 de Diciembre de 2016. Altura promedio 10.2 cms

Plántula	Altura (cm)
1	10.5
2	11.9
3	12.5
4	4.9
5	6.6
6	12.5
7	15.1
8	10.5
9	6.0
10	11.5

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 227.

Medición 16. 17 de Diciembre de 2016. Altura promedio 10.39 cms

Plántula	Altura (cm)
1	10.8
2	12.0
3	13.0
4	5.0
5	6.7
6	13.1
7	15.1
8	10.5
9	6.1
10	11.6

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 28.

Medición 17. 24 de Diciembre de 2016. Altura promedio 10.61 cms

Plántula	Altura (cm)
1	10.8
2	12.0
3	13.5
4	5.2
5	6.8
6	13.6
7	15.3
8	10.9
9	6.2
10	12.0

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 29.

Medición 18. 31 de Diciembre de 2016. Altura promedio 10.82 cms

Plántula	Altura (cm)
1	11.0
2	12.6
3	13.9
4	5.3
5	7.0
6	14.0
7	15.3
8	10.9
9	6.2
10	12.0

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 230.

Medición 19. 07 de Enero de 2017. Altura promedio 10.98 cms

Plántula	Altura (cm)
1	11.0
2	12.8
3	13.9
4	5.4
5	7.1
6	14.0
7	15.3
8	12.0
9	6.2
10	12.1

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 241.

Medición 20. 14 de Enero de 2017. Altura promedio 11.15 cms

Plántula	Altura (cm)
1	11.1
2	12.8
3	13.9
4	5.5
5	7.2
6	14.2
7	15.6
8	12.5
9	6.2
10	12.5

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 252.

Medición 21. 21 de Enero de 2017. Altura promedio 11.98 cms

Plántula	Altura (cm)
1	11.2
2	12.8
3	16.0
4	7.2
5	7.9
6	15.0
7	16.0
8	13.0
9	7.2
10	13.5

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 263.

Medición 22. 28 de Enero de 2017 Altura promedio 12.52 cms

Plántula	Altura (cm)
1	11.9
2	13.0
3	16.5
4	7.5
5	8.0
6	15.6
7	16.8
8	13.6
9	8.3
10	14.0

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 274.

Medición 23. 04 de Febrero de 2017. Altura promedio 12.69 cms

Plántula	Altura (cm)
1	12.0
2	13.2
3	17.2
4	7.9
5	8.0
6	15.6
7	17.0
8	13.6
9	8.3
10	14.1

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 285.

Medición 24. 11 de Febrero de 2017. Altura promedio 13.54 cms

Plántula	Altura (cm)
1	12.0
2	13.2
3	17.2
4	8.0
5	15.6
6	16.1
7	17.0
8	13.8
9	8.3
10	14.2

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 296.

Medición 25. 18 de Febrero de 2017. Altura promedio 13.71 cms

Plántula	Altura (cm)
1	12.1
2	13.5
3	17.2
4	8.1
5	15.6
6	16.2
7	17.5
8	14.0
9	8.4
10	14.5

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 307.

Medición 26. 25 de Febrero de 2017. Altura promedio 13.91cms

Plántula	Altura (cm)
1	12.1
2	14.0
3	17.5
4	8.2
5	15.6
6	16.3
7	18.0
8	14.2
9	8.6
10	14.6

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 3831.

Medición 27. 04 de Marzo de 2017. Altura promedio 14.26 cms

Plántula	Altura (cm)
1	12.5
2	14.5
3	18.0
4	8.5
5	15.7
6	16.3
7	18.2
8	15.0
9	8.9
10	15.0

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 39.

Medición 28. 11 de Marzo de 2017. Altura promedio 14.46 cm

Plántula	Altura (cm)
1	12.8
2	14.5
3	18.5
4	8.6
5	15.7
6	16.5
7	18.4
8	15.4
9	9.0
10	15.2

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 320.

Medición 29. 18 de Marzo de 2017. Altura promedio 14.53 cms

Plántula	Altura (cm)
1	13.0
2	14.6
3	19.0
4	8.6
5	15.7
6	16.5
7	18.4
8	15.4
9	9.1
10	15.4

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 331.

Medición 30. 25 de Marzo 2017. Altura promedio 14.9 cms

Plántula	Altura (cm)
1	13.2
2	14.6
3	19.3
4	8.7
5	15.9
6	16.9
7	18.9
8	16.0
9	9.5
10	16.0

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 342.

Medición 31. 01 de Abril de 2017. Altura promedio 15.15 cms

Plántula	Altura (cm)
1	13.5
2	14.9
3	19.9
4	8.9
5	16.0
6	17.1
7	19.0
8	16.1
9	9.8
10	16.3

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 353.

Medición 32. 08 de Abril de 2017. Altura promedio 15.2 cms

Plántula	Altura (cm)
1	13.6
2	14.9
3	20.0
4	8.9
5	16.0
6	17.2
7	19.0
8	16.1
9	9.9
10	16.4

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 364.

Medición 33. 15 de Abril de 2017. Altura promedio 15.24 cms

Plántula	Altura (cm)
1	13.6
2	15.0
3	20.0
4	8.9
5	16.0
6	17.3
7	19.0
8	16.2
9	10.0
10	16.4

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 375.

Medición 34. 22 de Abril 2017. Altura promedio 15.39 cms

Plántula	Altura (cm)
1	13.6
2	15.1
3	20.0
4	8.9
5	16.1
6	17.3
7	19.0
8	16.5
9	10.5
10	16.9

Fuente: Autor del proyecto

Medicion	Altura promedio	Unidad (centímetros)
1	3.35	cms
2	4.45	cms
3	5.96	cms
4	6.2	cms
5	6.33	cms
6	7.35	cms
7	7.65	cms
8	8.48	cms
9	8.67	cms
10	8.81	cms
11	8.95	cms
12	9.26	cms
13	9.36	cms
14	9.52	cms
15	10.2	cms
16	10.39	cms
17	10.61	cms
18	10.82	cms
19	10.98	cms
20	11.15	cms
21	11.98	cms
22	12.52	cms
23	12.69	cms
24	13.54	cms
25	13.71	cms
26	13.91	cms

27	14.96	cms
28	14.46	cms
29	14.53	cms
30	14.9	cms
31	15.15	cms
32	15.2	cms
33	15.24	cms
34	15.39	cms
35	15.64	cms

Apéndice G

Características fisiológicas

Centrosema macrocarpum

Las leguminosas son componentes importantes de las pasturas tropicales, estas cumplen funciones importantes pues aportan a la fertilidad del suelo, fijando nitrógeno del aire, el cual puede ser aprovechado por las gramíneas y demás especies asociadas para aumentar su producción y calidad nutritiva.

La producción de semillas de leguminosas forrajeras tropicales varía entre especies. En la mayoría, la producción se presenta en crecimiento postrado; algunas, con crecimiento voluble necesitan soportes para producir una mayor cantidad de semillas. Esto ocurre con las especies de *Centrosema*, entre las cuales sobresalen *C. acutifolium*, *C. brasilianum* y *C. macrocarpum*.

C. macrocarpum CIAT No. 5713 fue colectado en Anzoátegui, Venezuela en febrero de 1981. Es una planta perenne robusta, adaptada a suelos ultisoles ácidos (pH 4.1, 89% de saturación de aluminio). Posee un alto valor nutritivo y un buen potencial para producir semillas. En comparación con las gramíneas tropicales, las semillas de las leguminosas tropicales cosechadas son más limpias y tienen un alto poder germinativo. En consecuencia, los problemas de la calidad de las semillas no son tan serios con las leguminosas. Sin embargo, la mayoría de las especies de leguminosas tropicales desarrollan una corteza dura en la semilla que reduce sustancialmente la germinación rápida y uniforme, si no se hace tratamiento para disminuir el

efecto de la dureza¹. Este autor menciona que las especies de leguminosas en su mayoría contienen cerca del 80% de semilla dura y relaciona tres métodos principales de tratamiento para reducir la dureza: Tratamientos basados en métodos mecánicos, en métodos químicos, o en calor y remojo. Puesto que no siempre es posible conocer la procedencia de la semilla ni si ésta ha sido cosechada mecánica o manualmente, como regla general se recomienda evaluar la germinación de la semilla. En el evento de que el resultado obtenido no sea superior al 40%, es obvio que la semilla se beneficiará mucho con el tratamiento para reducir la dureza.

Escarificación mecánica

La escarificación mecánica se reduce a dañar la corteza de la semilla para permitir la entrada de humedad una vez que se haya sembrado. Se puede raspar la semilla entre dos superficies a las cuales se les ha pegado papel de lija. La operación debe continuarse hasta que una pequeñísima cantidad de las sernillas se rompan o astillen. En el caso de semillas de tamaño grande, se puede partir o mellar una pequeña parte de la cubierta con un par de tijeras.

Escarificación química

La escarificación química comprende el uso de ácido sulfúrico concentrado. La semilla se mezcla con el ácido en un recipiente rodeado exteriormente con agua y se agita continuamente durante el tiempo requerido - 10 a 20 minutos según la especie. La semilla se agita continuamente en un baño de agua debido a que el proceso libera mucho calor. En otra forma, el calor liberado sería suficiente para deteriorar el embrión de la semilla.

¹ Purcell, D. (1975). Producción, almacenamiento y tratamiento de semillas de forrajeras. *Seminario Sobre Produccion De Semillas De Forrajeras*. Bogota, Colombia.

Después del tratamiento se debe lavar bien con agua todo residuo de ácido en las semillas, con el objeto de evitar menoscabo al *Rhizobium* inoculado posteriormente.

Escarificación por remojo

Un método simple, utilizado para reducir la dureza de la corteza de las semillas de la mayoría de las especies de leguminosas consiste en embeber la semilla en agua durante 24 horas, secarla luego rápidamente y proceder a la siembra inmediatamente. Sin embargo, una deficiencia de este sistema es la urgencia en sembrar tan pronto se hace el tratamiento.

Descripción

Familia: Fabaceae

Ciclo vegetativo: Perenne

Forma de crecimiento: Rastrera, trepadora

Adaptación

Tipo de suelo: Adaptado a bajo a medio- fertilidad, suelos bien drenados de diferentes texturas, particularmente margas. Tolera condiciones muy ácidas, con alta de Al y Mn soluble.

Altitud: Hasta 1500 msn

Precipitación anual: Húmeda de clima sub -húmedo con lluvias anuales > 1.000 mm, 3-6 meses secos. Una vez establecida, *C. macrocarpum* es muy resistente a la sequía.

Compatibilidad (con otras especies): Combina bien con hierbas manojo y otras especies que producen una postura más abierta.

Resistencia

A sequia: Media

Al frio: Buena

A la humedad: Media - Baja

Al salivazo o mosca pinta: Alta

Exigencias

Preparación de suelo: Arar, rastra, desterronar y nivelar²

Responde bien a la fertilización en suelos de baja fertilidad, principalmente, P y K.

Consideraciones especiales para la elección de la especie *Centrosema macrocarpum* en el proyecto:

Revisada la literatura y las características de adaptabilidad de esta especie para la función del proyecto en revegetalizar algunas áreas erosionadas de bosque seco tropical presente en la zona destinada al proyecto jardín botánico de la universidad francisco de paula Santander Ocaña ubicado a 1200 m.s.n.m y precipitación media de 1200 mm aproximadamente, se escoge esta especie que en condiciones de sequias y precipitaciones temporales escasas alcanza a establecerse pero se limita su propagación y extensión, que en función de época de lluvias en la región se aprovecha las condiciones climáticas y disponibilidad de agua lluvia para la etapa crítica de siembra y germinación, característica que favorece las pretensiones presentes en control de erosión sin afectar significativamente las características naturales del bosque y a futuro del proyecto referente al restauración ecológica de estratos superiores vegetales que limitan al establecimiento de una sola especie herbácea.

² http://www.ecuaquimica.com/tanzania_potreros.html