

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAF113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3 188
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
		PAGINA: 1 de 8

Código de la dependencia.

FECHA	16 de Junio de 2021
--------------	---------------------

Señores
UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA
 BIBLIOTECA
 Ciudad

UNIDAD REGIONAL	Sede Girardot
TIPO DE DOCUMENTO	Trabajo de Grado
FACULTAD	Ciencias Agropecuarias
NIVEL ACADÉMICO DE FORMACIÓN O PROCESO	Pregrado
PROGRAMA ACADÉMICO	Ingeniería Ambiental

El Autor(Es):

APELLIDOS COMPLETOS	NOMBRES COMPLETOS	No. DOCUMENTO DE IDENTIFICACIÓN
Cartagena Méndez	María José	1006141216
Castro Aguirre	Juan José	1105691418

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca
 Teléfono (091) 8281483 Línea Gratuita 018000976000
www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co
 NIT: 890.680.062-2

*Documento controlado por el Sistema de Gestión de la Calidad
 Asegúrese que corresponde a la última versión consultando el Portal Institucional*

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAF113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
		PAGINA: 2 de 8

Director(Es) y/o Asesor(Es) del documento:

APELLIDOS COMPLETOS	NOMBRES COMPLETOS
Aldaya Rodríguez	María

TÍTULO DEL DOCUMENTO
EL BIOCHAR COMO ENMIENDA PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS DE SUELOS EN ECOSISTEMAS DE BOSQUES SECO TROPICAL, MUNICIPIOS DE GIRARDOT (CUNDINAMARCA) Y ESPINAL (TOLIMA).

SUBTÍTULO (Aplica solo para Tesis, Artículos Científicos, Disertaciones, Objetos Virtuales de Aprendizaje)

TRABAJO PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Aplica para Tesis/Trabajo de Grado/Pasantía
Ingeniero Ambiental

AÑO DE EDICION DEL DOCUMENTO	NÚMERO DE PÁGINAS
30 de Abril de 2021	107

DESCRIPTORES O PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS (Usar 6 descriptores o palabras claves)	
ESPAÑOL	INGLÉS
1. Recuperación de suelos	Soil recovery
2. Materia orgánica	Organic material
3. Biochar	Biochar
4. Caracterización Analítica	Analytical characterization
5. Funciones ecosistémicas del suelo	Ecosystem functions of the soil
6. Servicios ecosistémicos	Ecosystem services

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca
 Teléfono (091) 8281483 Línea Gratuita 018000976000
www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co
 NIT: 890.680.062-2

*Documento controlado por el Sistema de Gestión de la Calidad
 Asegúrese que corresponde a la última versión consultando el Portal Institucional*



MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAF113
PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
	PAGINA: 3 de 8

RESUMEN DEL CONTENIDO EN ESPAÑOL E INGLÉS

(Máximo 250 palabras – 1530 caracteres, aplica para resumen en español):

El suelo es un componente muy importante de la biosfera, y un condicionante fundamental para la productividad y los ecosistemas terrestres. A nivel mundial se estima que alrededor del 15% de la superficie terrestre se ha degradado por causa de la actividad humana, como la explotación intensiva, extensiva o semi-extensiva, y la deforestación. Situaciones que se han visto observadas y que actualmente padecen algunos remanentes del ecosistema Bosque Seco Tropical (BST) en Colombia. Por lo tanto, el presente trabajo de investigación busca la aplicación de estrategias sostenibles, con el fin de favorecer la restauración de suelos degradados en la finca La Franconia ubicada en la vereda Sucre en el municipio de Espinal – Tolima y la finca La Palmira ubicada en la vereda Barzalosa del Municipio de Girardot – Cundinamarca.

Esta propuesta de trabajo de grado modalidad de investigación hace parte del proyecto de cooperación internacional "Transferencia de conocimientos para la recuperación de suelos degradados bajo ecosistemas de Bosque seco tropical (Colombia) y Mediterráneo (España)" con referencia COOPB20365 del Programa de cooperación internacional I-COOP+ 2018, en vigor entre el 01/04/2019 y el 30/11/2021. Los programas de Ingeniería Ambiental de la Universidad de Cundinamarca, la Universidad Santo Tomás, la Institución Universitaria Politécnico Gran Colombiano y el Instituto de Recursos Naturales y Agro biología de Sevilla (IRNAS) España, son las entidades participantes, con el ánimo de promover el intercambio de conocimiento y el fortalecimiento de procesos de investigación.

Soil is a very important component of the biosphere, and a fundamental determinant for productivity and terrestrial ecosystems. Worldwide, it is estimated that around 15% of the earth's surface has been degraded by human activity, such as intensive, extensive or semi-extensive exploitation, and deforestation. Situations that have been observed and that currently suffer some remnants of the Tropical Dry Forest (BST) ecosystem in Colombia. Therefore, this research work seeks the application of sustainable strategies, in order to favor the restoration of degraded soils in the La Franconia farm located in the Sucre village in the municipality of Espinal - Tolima and the La Palmira farm located in the path Barzalosa of the Municipality of Girardot - Cundinamarca.

This research modality degree work proposal is part of the international cooperation project "Transfer of knowledge for the recovery of degraded soils under tropical dry forest ecosystems (Colombia) and Mediterranean (Spain)" with reference COOPB20365 of the International Cooperation Program I -COOP + 2018, effective between 04/01/2019 and 11/30/2021. The Environmental Engineering programs of the University of Cundinamarca, the Santo Tomás University, the Gran Colombiano Polytechnic University Institution and the Institute of Natural Resources and Agrobiology of Seville (IRNAS) Spain, are the participating entities, with the aim of promoting exchange of knowledge and the strengthening of research processes.

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAF113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
		PAGINA: 4 de 8

AUTORIZACION DE PUBLICACIÓN

Por medio del presente escrito autorizo (Autorizamos) a la Universidad de Cundinamarca para que, en desarrollo de la presente licencia de uso parcial, pueda ejercer sobre mí (nuestra) obra las atribuciones que se indican a continuación, teniendo en cuenta que, en cualquier caso, la finalidad perseguida será facilitar, difundir y promover el aprendizaje, la enseñanza y la investigación.

En consecuencia, las atribuciones de usos temporales y parciales que por virtud de la presente licencia se autoriza a la Universidad de Cundinamarca, a los usuarios de la Biblioteca de la Universidad; así como a los usuarios de las redes, bases de datos y demás sitios web con los que la Universidad tenga perfeccionado una alianza, son: Marque con una "X":



MACROPROCESO DE APOYO
PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO
DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL
REPOSITORIO INSTITUCIONAL

CÓDIGO: AAAF113
VERSIÓN: 3
VIGENCIA: 2017-11-16
PAGINA: 5 de 8

AUTORIZO (AUTORIZAMOS)	SI	NO
1. La reproducción por cualquier formato conocido o por conocer.		X
2. La comunicación pública por cualquier procedimiento o medio físico o electrónico, así como su puesta a disposición en Internet.		X
3. La inclusión en bases de datos y en sitios web sean éstos onerosos o gratuitos, existiendo con ellos previa alianza perfeccionada con la Universidad de Cundinamarca para efectos de satisfacer los fines previstos. En este evento, tales sitios y sus usuarios tendrán las mismas facultades que las aquí concedidas con las mismas limitaciones y condiciones.		X
4. La inclusión en el Repositorio Institucional.		X

De acuerdo con la naturaleza del uso concedido, la presente licencia parcial se otorga a título gratuito por el máximo tiempo legal colombiano, con el propósito de que en dicho lapso mi (nuestra) obra sea explotada en las condiciones aquí estipuladas y para los fines indicados, respetando siempre la titularidad de los derechos patrimoniales y morales correspondientes, de acuerdo con los usos honrados, de manera proporcional y justificada a la finalidad perseguida, sin ánimo de lucro ni de comercialización.

Para el caso de las Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía, de manera complementaria, garantizo(garantizamos) en mi(nuestra) calidad de estudiante(s) y por ende autor(es) exclusivo(s), que la Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía en cuestión, es producto de mi(nuestra) plena autoría, de mi(nuestro) esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de mi(nuestra) creación original particular y, por tanto, soy(somos) el(los) único(s) titular(es) de la misma. Además, aseguro (aseguramos) que no contiene citas, ni transcripciones de otras obras protegidas, por fuera de los límites autorizados por la ley, según los usos honrados, y en proporción a los fines previstos; ni tampoco contempla declaraciones difamatorias contra terceros; respetando el derecho a la imagen, intimidad, buen nombre y demás derechos constitucionales. Adicionalmente, manifiesto (manifestamos) que no se incluyeron expresiones contrarias al orden público ni a las buenas costumbres. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general, contenidos de la Tesis o Trabajo de Grado es de mí (nuestra) competencia exclusiva, eximiendo de toda responsabilidad a la Universidad de Cundinamarca por tales aspectos.

Sin perjuicio de los usos y atribuciones otorgadas en virtud de este documento, continuaré (continuaremos) conservando los correspondientes derechos patrimoniales sin modificación o restricción alguna, puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAF113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
		PAGINA: 6 de 8

caso conlleva la enajenación de los derechos patrimoniales derivados del régimen del Derecho de 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, "*Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores*", los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables. En consecuencia, la Universidad de Cundinamarca está en la obligación de RESPETARLOS Y HACERLOS RESPETAR, para lo cual tomará las medidas correspondientes para garantizar su observancia.

NOTA: (Para Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía):

Información Confidencial:

Esta Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía, contiene información privilegiada, estratégica, secreta, confidencial y demás similar, o hace parte de la investigación que se adelanta y cuyos resultados finales no se han publicado.

SI NO X.

En caso afirmativo expresamente indicaré (indicaremos), en carta adjunta tal situación con el fin de que se mantenga la restricción de acceso.

LICENCIA DE PUBLICACIÓN

Como titular(es) del derecho de autor, confiero(erimos) a la Universidad de Cundinamarca una licencia no exclusiva, limitada y gratuita sobre la obra que se integrará en el Repositorio Institucional, que se ajusta a las siguientes características:

a) Estará vigente a partir de la fecha de inclusión en el repositorio, por un plazo de 5 años, que serán prorrogables indefinidamente por el tiempo que dure el derecho patrimonial del autor. El autor podrá dar por terminada la licencia solicitándolo a la Universidad por escrito. (Para el caso de los Recursos Educativos Digitales, la Licencia de Publicación será permanente).

b) Autoriza a la Universidad de Cundinamarca a publicar la obra en formato y/o soporte digital, conociendo que, dado que se publica en Internet, por este hecho circula con un alcance mundial.

c) Los titulares aceptan que la autorización se hace a título gratuito, por lo tanto, renuncian a recibir beneficio alguno por la publicación, distribución, comunicación pública y cualquier otro uso que se haga en los términos de la presente licencia y de la licencia de uso con que se publica.

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAF113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
		PAGINA: 7 de 8

d) El(Los) Autor(es), garantizo(amos) que el documento en cuestión, es producto de mi(nuestra) plena autoría, de mi(nuestro) esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de mi (nuestra) creación original particular y, por tanto, soy(somos) el(los) único(s) titular(es) de la misma. Además, aseguro(aseguramos) que no contiene citas, ni transcripciones de otras obras protegidas, por fuera de los límites autorizados por la ley, según los usos honrados, y en proporción a los fines previstos; ni tampoco contempla declaraciones difamatorias contra terceros; respetando el derecho a la imagen, intimidad, buen nombre y demás derechos constitucionales. Adicionalmente, manifiesto (manifestamos) que no se incluyeron expresiones contrarias al orden público ni a las buenas costumbres. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general, contenidos es de mí (nuestro) competencia exclusiva, eximiendo de toda responsabilidad a la Universidad de Cundinamarca por tales aspectos.

e) En todo caso la Universidad de Cundinamarca se compromete a indicar siempre la autoría incluyendo el nombre del autor y la fecha de publicación.

f) Los titulares autorizan a la Universidad para incluir la obra en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

g) Los titulares aceptan que la Universidad de Cundinamarca pueda convertir el documento a cualquier medio o formato para propósitos de preservación digital.

h) Los titulares autorizan que la obra sea puesta a disposición del público en los términos autorizados en los literales anteriores bajo los límites definidos por la universidad en el "Manual del Repositorio Institucional AAAM003"

i) Para el caso de los Recursos Educativos Digitales producidos por la Oficina de Educación Virtual, sus contenidos de publicación se rigen bajo la Licencia Creative Commons: Atribución- No comercial- Compartir Igual.



j) Para el caso de los Artículos Científicos y Revistas, sus contenidos se rigen bajo la Licencia Creative Commons Atribución- No comercial- Sin derivar.



Nota:

Si el documento se basa en un trabajo que ha sido patrocinado o apoyado por una entidad, con excepción de Universidad de Cundinamarca, los autores garantizan que se ha cumplido con los derechos y obligaciones requeridos por el respectivo contrato o acuerdo.



MACROPROCESO DE APOYO
PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO
DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL
REPOSITORIO INSTITUCIONAL

CÓDIGO: AAAF113
VERSIÓN: 3
VIGENCIA: 2017-11-16
PAGINA: 8 de 8

La obra que se integrará en el Repositorio Institucional, está en el(los) siguiente(s) archivo(s).

Nombre completo del Archivo Incluida su Extensión (Ej. PerezJuan2017.pdf)	Tipo de documento (ej. Texto, imagen, video, etc.)
1. Documento trabajo de grado Biochar como enmienda para la recuperación de suelos degradados. Pdf	Texto
2. Carpeta mapas. Zip	Imágenes

En constancia de lo anterior, Firmo (amos) el presente documento:

APELLIDOS Y NOMBRES COMPLETOS	FIRMA (autógrafa)
Cartagena Méndez María José	
Castro Aguirre Juan José	

Código Serie Documental (Ver Tabla de Retención Documental).

**EL BIOCHAR COMO ENMIENDA PARA MEJORAR LAS
PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE SUELOS EN ECOSISTEMAS DE
BOSQUES SECO TROPICAL, MUNICIPIOS DE GIRARDOT
(CUNDINAMARCA) Y ESPINAL (TOLIMA).**

María José Cartagena Méndez

Cód. 363216211

Juan José Castro Aguirre

Cód. 363215220

**Trabajo de grado modalidad investigación para optar por el título de
Ingeniero Ambiental**

Universidad de Cundinamarca.

Seccional Girardot.

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Programa de Ingeniería Ambiental

IIPA2020

**EL BIOCHAR COMO ENMIENDA PARA MEJORAR LAS
PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE SUELOS EN ECOSISTEMAS DE
BOSQUES SECO TROPICAL, MUNICIPIOS DE GIRARDOT
(CUNDINAMARCA) Y ESPINAL (TOLIMA).**

María José Cartagena Méndez

Cód. 363216211

Juan José Castro Aguirre

Cód. 363215220

Director

María Aldaya Rodríguez

Especialista en enseñanza de la ciencia con énfasis en educación ambiental

Codirector

John Jairo Sandoval Valencia

Doctor en Química

Universidad de Cundinamarca.

Seccional Girardot.

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Programa de Ingeniería Ambiental

IIPA2020

Tabla de Contenido

Resumen	6
Introducción	7
Planteamiento del problema	10
Justificación	13
Objetivos	15
Objetivo general	15
Objetivos específicos	15
Marco referencial	16
Estado del arte	16
Marco legal	21
Materiales y métodos	25
Área de estudio	25
Recursos (Humanos, institucionales, físicos, logísticos, infraestructura y equipos)	28
Metodología	30
Cálculo del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) de la vereda Sucre (Espinal – Tolima) y Vereda Barzalosa (Girardot – Cundinamarca)	31
Análisis fisicoquímico para evaluar el estado del recurso suelo en la fincas La Franconia (Vereda Sucre – Espinal, Tolima) y La Palmira (Vereda Barzalosa – Girardot, Cundinamarca)	36
Estudio del efecto de un abono orgánico y biochar en la producción de biomasa	43
Resultados y discusión	55
Análisis Multitemporal e identificación de uso de suelo	55
Análisis fisicoquímico para evaluar el estado del recurso suelo en la fincas La Franconia (Vereda Sucre – Espinal, Tolima) y La Palmira (Vereda Barzalosa – Girardot, Cundinamarca)	68
Caracterización fisicoquímica	68
Determinación la producción de biomasa a partir de la aplicación de un abono orgánico y Biochar en suelos de Bosque Seco Tropical.	88
Análisis de la caracterización del compost con relación al biochar (Comparativo)	88
Análisis de la producción de biomasa en plantaciones con la planta forrajera de tipo C4 (<i>Brachiaria decumbens</i> cv. <i>Basilisk</i>)	90
Conclusiones y recomendaciones	96
Lista de referencias	104

Lista de tablas

Tabla 1. *Identificación de imágenes Satelitales*

Tabla 2. *Interpretación del NDVI*

Tabla 3. *Límites Finca La Franconia (Vereda Sucre - Espinal, Tolima) y Finca La Palmira (Vereda Barzalosa – Girardot, Cundinamarca)*

Tabla 4. *Mapas de NDVI Vereda Sucre – Espinal, Tolima.*

Tabla 5. *Resultados cálculo NDVI Vereda Sucre del año 2015, 2017, 2019 y 2021*

Tabla 6. *Mapas de NDVI Vereda Barzalosa – Girardot, Cundinamarca*

Tabla 7. *Resultados cálculo NDVI Vereda Barzalosa del año 2015, 2017, 2019 y 2021*

Tabla 8. *Metales encontrados en las muestra de suelo Girardot/Espinal*

Tabla 9. *Demás elementos encontrados en la muestra de suelo Girardot/Espinal*

Tabla 10. *Valores de referencia en diferentes regiones de Europa.*

Tabla 11. *Valores de referencia en Colombia.*

Tabla 12. *pH en las muestras de suelo*

Tabla 13. *Método de Walkley-Black para % de materia orgánica, carbono y retención de agua.*

Tabla 14. *Categorías para contenido de materia orgánica según tipo de suelo.*

Tabla 15. *% de conductividad eléctrica.*

Tabla 16. *Valores y porcentaje de N, K Y P de los suelos.*

Tabla 17. *Rangos de concentración de potasio.*

Tabla 18. *Niveles de fosforo según el tipo de suelo por método de Olsen (mg/kg).*

Tabla 19. *Caracterización del compost con relación al biochar*

Tabla 20. *Relación de producción de biomasa en las dos zonas de estudio*

Lista de figuras

- Figura 1.** Mapas zona de trabajo
- Figura 2.** Vereda Barzalosa
- Figura 3.** Vereda Sucre
- Figura 4.** Diagrama de proceso del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada.
- Figura 5.** Ubicación de Finca La Franconia (Vereda Sucre – Espinal, Tolima)
- Figura 6.** Ubicación de Finca La Palmira (Vereda Barzalosa – Girardot, Cundinamarca).
- Figura 7.** Montaje Experimental
- Figura 8.** Montaje Experimental
- Figura 9.** Gráfica porcentajes cálculo de NDVI Vereda Sucre.
- Figura 10.** Mapa de usos de suelo Rural. R4
- Figura 11.** Gráfica porcentajes cálculo de NDVI Vereda Barzalosa.
- Figura 12.** Plano Uso del Suelo 2001. Girardot, Cundinamarca.
- Figura 13.** Concentraciones metales pesados en suelos de Girardot y Espinal
- Figura 14.** Concentraciones de metales pesados en promedio en suelos de Girardot y Espinal
- Figura 15.** Concentraciones de Plomo en suelos de Girardot y Espinal
- Figura 16.** Concentraciones de Zinc en suelos de Girardot y Espinal
- Figura 17.** Concentraciones de Níquel en suelos de Girardot y Espinal
- Figura 18.** Concentraciones de Cromo en suelos de Girardot y Espinal
- Figura 19.** Concentraciones de Cobre en suelos de Girardot y Espinal
- Figura 20.** Concentraciones de arsénico en suelos de Girardot y Espinal
- Figura 21.** Porcentajes de materia orgánica en muestras de suelos de Girardot y Espinal
- Figura 22.** Categoría para disponibilidad de fosforo en el suelo.

Resumen

El suelo es un componente muy importante de la biosfera, y un condicionante fundamental para la productividad y los ecosistemas terrestres. A nivel mundial se estima que alrededor del 15% de la superficie terrestre se ha degradado por causa de la actividad humana, como la explotación intensiva, extensiva o semi-extensiva, y la deforestación. Situaciones que se han visto observadas y que actualmente padecen algunos remanentes del ecosistema Bosque Seco Tropical (BST) en Colombia. Por lo tanto, el presente trabajo de investigación busca la aplicación de estrategias sostenibles, con el fin de favorecer la restauración de suelos degradados en la finca La Franconia ubicada en la vereda Sucre en el municipio de Espinal – Tolima y la finca La Palmira ubicada en la vereda Barzalosa del Municipio de Girardot – Cundinamarca.

Esta propuesta de trabajo de grado modalidad de investigación hace parte del proyecto de cooperación internacional **“Transferencia de conocimientos para la recuperación de suelos degradados bajo ecosistemas de Bosque seco tropical (Colombia) y Mediterráneo (España)”** con referencia COOPB20365 del Programa de cooperación internacional I-COOP+ 2018, en vigor entre el 01/04/2019 y el 30/11/2021. Los programas de Ingeniería Ambiental de la Universidad de Cundinamarca, la Universidad Santo Tomás, la Institución Universitaria Politécnico Gran Colombiano y el Instituto de Recursos Naturales y Agro biología de Sevilla (IRNAS) España, son las entidades participantes, con el ánimo de promover el intercambio de conocimiento y el fortalecimiento de procesos de investigación.

Palabras Claves: Recuperación de suelos, materia orgánica, Biochar, caracterización analítica, funciones ecosistémicas del suelo.

Introducción

Suelo o tierra se le denomina a la parte superficial de la corteza terrestre, biológicamente activa, que proviene de la desintegración o alteración física y química de las rocas y de los residuos de las actividades de seres vivos que se asientan sobre él. El suelo constituye un sistema abierto, con entradas de tipo atmosféricas y salidas que pueden ser superficiales, en forma de escurrimiento y erosión. Por otro lado, en el cuerpo mismo del suelo se producen una serie de transformaciones que involucran la presencia de microorganismos, agua, raíces, intercambio de gases, descomposición y neoformaciones, entre muchos otros procesos. La evolución del suelo es constante bajo condiciones propicias, pero con lapsos que fluctúan de cientos a miles de años requeridos para la formación de algunos centímetros. Este largo periodo hace que se considere al suelo como un recurso natural no renovable (Naturales, 2007).

Como sociedades cada vez más urbanas, sin contacto con la naturaleza, perdemos de vista la importancia de los suelos para nuestra supervivencia y prosperidad. Sin embargo, en todos los ecosistemas, los suelos cumplen con importantes funciones de las cuales se derivan servicios ambientales indispensables para el sostenimiento tanto del ecosistema como de la vida humana. La función más conocida es la de soporte y suministro de nutrientes a las plantas. De ahí que la degradación del suelo está considerada como el mayor problema ambiental que amenaza la producción mundial de alimentos y el desarrollo sostenible de los terrenos agrícolas (PNUMA, 2000).

No obstante, el suelo cumple con otras funciones igualmente trascendentes, como la de constituir un medio filtrante que permite la recarga de los acuíferos, influyendo también en la calidad del agua. Asimismo constituye el medio donde se realizan ciclos biogeoquímicos necesarios para el reciclaje de los compuestos orgánicos. Como resultado de este proceso, se estima que el contenido de carbón almacenado en el primer metro del suelo es 1.5 veces mayor a aquél acumulado en la biomasa, constituyendo la tercera fuente más importante de carbono (Sombroek, 1993). Según sus características, el suelo funciona también como hábitat para una miríada de organismos, desde células microscópicas a pequeños mamíferos y reptiles, manteniendo una amplia biodiversidad (Brady y Weil, 1999).

La degradación de suelos se refiere a los procesos inducidos por la sociedad que disminuyen la capacidad actual y futura del suelo para sostener la vida humana (Oldeman, 1998). Los fenómenos de degradación merman la calidad de los suelos, entendida ésta como la capacidad que tiene el suelo para funcionar (dentro de los límites de un ecosistema natural o manejado para sostener la productividad vegetal y animal), mantener o mejorar la calidad del aire y del agua, y sostener la salud humana (Doran J.W. y T.B. Parkin, 1994). Teniendo en cuenta lo anterior, se considera importante atender tanto a nivel regional como nacional el tema de la degradación de suelos, debido que esto es considerado como un efecto directo ocasionado por la mala gestión que se le da a este recurso durante el desarrollo de las diferentes actividades humanas, que genera una

pérdida de la calidad de los suelos, de biodiversidad y de los servicios ecosistémicos asociados a este recurso.

La restauración de suelos degradados, se considerada un conjunto de herramientas que ayudan en el proceso de recuperar la funcionalidad que se ha perdido del suelo, recuperando las condiciones de biodiversidad, dinámica, funcionamiento y estructura, lo cual no genera solamente una importancia ambiental sino también social debido a que estos aportan bienes y servicios ecosistémicos a la comunidad (ForSuelo, 2021).

El presente trabajo de investigación tiene como enfoque principal la aplicación del conocimiento sobre las diferentes herramientas y estrategias que ayuden a la recuperación de suelos degradados bajo un entorno ecosistémico de bosque seco tropical.

Planteamiento del problema

La degradación del suelo significa la reducción o pérdida de la capacidad de un suelo para desempeñar sus funciones, como por ejemplo la producción de alimentos y de biomasa, el reciclaje de nutrientes o el sostenimiento de la biodiversidad, la regulación climática, reduce las emisiones de gases de efecto invernadero, regula el ciclo hídrico, etc. En la región, la pérdida de productividad está relacionada con la sequía, la sequía y otros factores climáticos, geomórficos y biológicos, pero tal vez más importante es la gestión deficiente o insuficiente de los recursos naturales que el ser humano lleva a cabo. Este es un descubrimiento básico. La degradación del suelo y de los ecosistemas que sustenta constituye el proceso más preocupante de la geopatología de la región y puede desembocar en la desertificación del territorio. Los seres humanos son casi siempre los iniciadores y víctimas del proceso de degradación de importantes recursos, suelo, agua y vegetación. Solo mediante la gestión sostenible de los recursos naturales renovables será posible mantener su capacidad de producción.

Una actividad económica importante en los municipios de Espinal y Girardot, es la agricultura, la cual ha ido disminuyendo la calidad de los suelos de estos municipios, debido al mal manejo que se le ha dado por parte de los agricultores. Esto genera así una pérdida de la biodiversidad, disminución del contenido de materia orgánica, incremento de la acidez, procesos de erosión y desertificación, y una disminución de la capacidad del suelo para producir los bienes y servicios que abastecen la comunidad, que finalmente ocasiona un problema económico social al generar mayores gastos y/o menores

beneficios para los agricultores de la zona. En la actualidad en el municipio de Girardot solo se utiliza el 35% de las tierras aptas para ser cultivadas, lo que demuestra el declive que vive, aunque han sido propicias para la agricultura debido a las condiciones favorables de sus suelos, en el municipio de Girardot – Cundinamarca, se observaba el desaprovechamiento de los recursos productivos y de las zonas rurales del Municipio, que aporta al fortalecimiento para ser competentes y lograr un mejor desarrollo económico (UMATA, 2019).

La erosión y desertificación son considerados procesos que ocasionan la pérdida de las funciones y servicios ecosistémicos; estos tipos de degradación de los suelos, promueven la pérdida de sus capacidades como reguladores en el ciclo hídrico de los ecosistemas y como almacenadores de grandes cantidades de carbono, disminuyendo la captación de gases efecto invernadero. De otra parte, existen efectos que son más tangibles, como es el caso de la pérdida de los rendimientos de los cultivos comerciales y sus efectos en la oferta y los precios de los alimentos, situación que genera implicaciones directas en la seguridad alimentaria de millones de personas (Rubio, 2020).

Adicionalmente cabe aclarar que la oferta de servicios ecosistémicos depende directamente de la salud de los suelos, es una necesidad urgente y un reto para la investigación, generar tecnologías y prácticas sostenibles que mitiguen su degradación, y promuevan la adaptación de las plantas a condiciones de variabilidad climática (Rubio, 2020). Finalmente, es necesario Colombia es un país con un nivel incipiente de

desarrollo científico en relación al estudio y recuperación de suelos degradados, evidenciado por su baja producción científica en temas relacionados con suelo y medioambiente en bases de datos como Scopus, Science Direct o ISI Web of Knowledge.

De esta situación surge por tanto la pregunta de investigación: ¿Cómo puede contribuir el Biochar como enmienda para la restauración de los suelos de la Finca la Franconia (Vereda Sucre – Espinal, Tolima) y la Finca la Palmira (Vereda Barzalosa – Girardot, Cundinamarca)?

Justificación

Los municipios de Espinal y Girardot presentan un ecosistema de Bosque Seco Tropical (BST), uno de los más amenazados a nivel mundial por las diversas actividades antropogénicas, de las cuales predominan las aplicaciones agrícolas (ganadería y monocultivos), la deforestación y el incontrolado desarrollo urbanístico. Desde el Grupo Udecino de Investigación Ambiental (GUIA) y en colaboración con el grupo de Investigación INAM-USTA, se han identificado estas zonas como prioritarias para el estudio y la ejecución de proyectos de recuperación de suelos degradados y tutela del bosque virgen.

Así mismo, este proyecto posibilita el enriquecimiento de la cultura científica nacional a través de la cooperación internacional para el intercambio de conocimientos y apoyo técnico en materia de restauración de suelos degradados. Para lo cual la UDEC trabajará juntamente con el Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla adscrito a la Agencia Estatal Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), en adelante IRNAS-CSIC. El cual cuenta con investigadores con amplia experiencia en la temática, y una dotación completa de laboratorios. Además del aporte de investigadores de instituciones nacionales como Politécnico Grancolombiano y Universidad Santo Tomas.

Finalmente, es necesario mencionar la contribución del presente con el cumplimiento de los ODS en Colombia, en este caso, en los procesos de formación profesional específica para el estudio y recuperación de suelos en zonas de bosque seco

tropical, mediante el aprovechamiento del potencial, la infraestructura, la tecnología y la experiencia del equipo investigador.

Teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente, este trabajo como parte de un proyecto de cooperación internacional puede indiscutiblemente contribuir a fortalecer la gestión sostenible de los suelos y su recuperación.

Objetivos

Objetivo general

Identificar la importancia del Biochar como enmienda en procesos de restauración de suelos, en un Ecosistema de Bosque Seco Tropical en Colombia.

Objetivos específicos

1. Identificar el uso del recurso suelo en las veredas Barzalosa del Municipio de Girardot Cundinamarca y Sucre de El Espinal Tolima.
2. Evaluar el estado del recurso suelo en las fincas Palmira (Vereda Barzalosa, Girardot - Cundinamarca) y Franconia (Vereda Sucre, El Espinal - Tolima), mediante análisis fisicoquímicos.
3. Determinar la producción de biomasa de la planta forrajera de tipo C4 (*Brachiaria decumbens* cv. *Basilisk*), a partir de la aplicación de un abono orgánico y Biochar en suelos de Bosque Seco Tropical.

Marco referencial

Estado del arte

La biomasa constituye todo material procedente de fuentes orgánicas de desechos arbóreos, vegetales y animales, así como también se considera cualquier material producido por actividades humanas (como agricultura, aserraderos y desechos municipales). Debido a su versatilidad, la biomasa se considera un recurso extremadamente atractivo para la generación de energía (Ortíz., 2011).

La pirólisis es un proceso termoquímico que permite la conversión de biomasa en condiciones anaerobias, de la que se obtienen sólidos (biocarbón), líquidos (bioaceite y biocrudo) y gases (Coordinación de Energías Renovables, 2008). La proporción de productos producidos a partir de este método puede variar según los parámetros operativos (tipo de biomasa, temperatura, tamaño de partícula, tiempo de residencia y velocidad de calentamiento) (Serna et al, 2013).

Según sus características operativas, existen diferentes tipos de pirólisis. Estas pirólisis permiten la producción de ciertos productos de proceso en una determinada proporción. La pirólisis lenta se refiere a la remoción de biomasa de 300 ° C a 500 ° C, descompone las cadenas poliméricas de celulosa, hemicelulosa y lignina, lo que permite diferentes reacciones de deshidratación, despolimerización, isomerización, aromatización y carbonización para obtener proporciones aproximadas. Biochar (35% -40%), bio-oil

(30% -40%) y gas (25% -35%), su variación depende del diseño del sistema de pirólisis y del tipo de biomasa que se alimenta al proceso (Perkins et al, 2018).

El biochar es un producto con múltiples sitios activos, alta porosidad y excelente relación oxígeno / carbono, lo que lo hace rebelde, convirtiéndolo en un buen elemento para la remediación de suelos, reciclaje de aguas residuales líquidas y adsorción de metales pesados. Forma un material que puede secuestrar carbono y restaurar la fertilidad del suelo (Escalante et al., 2016).

La incorporación de biocarbón al suelo puede cambiar sus propiedades físicas, como la textura, la estructura, la distribución del tamaño de los poros, el área de superficie total y la densidad aparente, lo que afecta la aireación, la retención de agua, el crecimiento de las plantas y la conveniencia del cultivo del suelo. A veces, partículas muy pequeñas de biocarbón pueden bloquear parcial o completamente los poros del suelo, cambiando así su estructura y reduciendo la penetración de agua (Downie, 2009).

El biocarbón generalmente aumenta la capacidad de intercambio catiónico (CEC) del suelo, por lo que retiene NH_4^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , lo que puede atribuirse a su alta superficie específica, alta carga superficial negativa y alta densidad de carga, que Son áreas que no se desarrollan a menudo en la investigación del biocarbón.

Según varios autores (Verheijen, 2009), el biocarbón puede mejorar la función del suelo e interferir con los procesos que ocurren en él. Alguna evidencia indica que el biocarbón puede usarse como portador de microorganismos, por lo que agregarlo al suelo puede aumentar la cantidad de hongos micorrízicos, por lo que se incluye en el trabajo de biorremediación del suelo. Se ha informado que en plantas de tomate inoculadas con *Botrytis*, su aplicación provocó una respuesta en la adquisición del follaje e indujo la vía de resistencia sistémica, lo que indica que es beneficiosa para la resistencia al estrés biótico. La aplicación de biocarbón aumenta la capacidad de retención de nutrientes en el suelo, reduciendo así la necesidad de grandes dosis de fertilizante, lo que se traduce en un aumento en la eficiencia del uso de fertilizantes.

La aplicación de biocarbón al suelo puede aumentar su permeabilidad al agua y reducir los costos de escorrentía y riego. Este fenómeno se ha encontrado en suelos de Australia y Reino Unido, la aplicación de biocarbón mejora la aireación del suelo y facilita la agricultura. Cuando se usa en cal viva, el biocarbón tiene un equilibrio de pH mejorado; la mejora del suelo debido a la adición de biocarbón también incluye una mayor retención de agua y permeabilidad al aire. Aunque la mayoría de los estudios han demostrado los efectos beneficiosos del biocarbón, algunos investigadores no han obtenido los mismos resultados. Por ejemplo, van Swieten et al. (2010) probaron el uso de dos biocombustibles en suelos calcáreos en Australia, con una tasa de aplicación de 4.5 Mg acre⁻¹ (11.1 Mg ha⁻¹). Los resultados mostraron que el contenido de carbono total aumentó, pero los nutrientes extraíbles no aumentaron. Por su parte, probaron un

biocarbón de cáscara de nuez de macadamia de carbonización ultrarrápida en un estudio que contenía suelo derivado de ceniza volcánica en una maceta que era fértil, cultivada y usaba lechuga como planta indicadora. Los mejores resultados para aumentar el consumo de biomasa y nitrógeno corresponden al control y macetas que contienen un 5% de biocarbón. En otro experimento, en suelo infértil con biocarbón, fertilización NPK y cal para el tratamiento, y maíz como cultivo indicador, el mejor método de tratamiento es no utilizar biocarbón sino fertilización NPK y cal para el tratamiento. Unger y Killorn (2011) evaluaron la aplicación de biocarbón y urea durante tres años en ensayos de campo de maíz. Descubrieron que no había diferencia en los rendimientos de grano y biomasa entre los tratamientos con biocarbón con y sin fertilizantes, pero respondieron a una sola aplicación de fertilizante.

Se ha demostrado que el biochar retiene elementos metálicos o contaminantes. Por ejemplo, el biocarbón probado con heces puede retener específicamente cadmio, y otro tipo de biocarbón de las cáscaras de semillas de algodón también puede retener otros metales pesados debido a su alta superficie específica (Brendová, 2012). Se obtuvieron resultados similares cuando se utilizó biocarbón como adsorbente en arroz contaminado con cadmio en el suelo. El bicarbonato también puede promover la adsorción de compuestos orgánicos, como herbicidas, pesticidas, enzimas; y compuestos hidrófobos, como los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), PCB en el suelo y los sedimentos, ayudando así a evitar efectos nocivos a corto y largo plazo.

Si se aplica biocarbón al suelo, se debe considerar la capacidad de carga de biocarbón (CCB), que es la cantidad máxima de carbono en forma de biocarbón que se puede agregar de manera segura al suelo sin dañar otras funciones del suelo o el medio ambiente. Sin embargo, no está claro cómo determinar esta cantidad. No se sabe si el biocombustible producido por CCB es diferente debido a diferentes materias primas y procesos, o si es diferente debido a las diferentes condiciones del suelo y ambientales. La literatura informa que la carga es superior a 140 Mg ha⁻¹. Otros proyectos reportaron cargas superiores a 50 Mg ha⁻¹ y 60 Mg ha⁻¹; sin embargo, en este caso, el impacto positivo en el rendimiento desapareció al aumentar las dosis, dando como resultado una respuesta positiva al clima y al suelo (Rondon, 2007). También se utilizó una dosis menor, de 5 a 50 Mg ha⁻¹ complementada con un adecuado manejo de la fertilización, obteniendo así un efecto positivo en el rendimiento del cultivo. Dado que la aplicación de biocarbón en el suelo es irreversible, se debe enfatizar que calcular el CCB apropiado para cultivos, suelos y otras condiciones de manejo es muy complicado. En este sentido, además de la productividad de los cultivos, se deben considerar otros aspectos, como la biología del suelo, el transporte de partículas finas de biocarbón a través de las aguas superficiales y subterráneas, etc. Por último, se debe tomar en cuenta el riesgo de una combustión espontánea del biocarbón en el suelo (Killorn, 2011). De ahí la necesidad de recopilar resultados de experimentos en campo, los cuales son pocos y revisar con detalle la gran cantidad de experimentos en diferentes agro ecosistemas.

Marco legal

Norma	Decreta
Resolución 170 de 2009 Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.	“Por la cual se declara en Colombia el año 2009 como año de los suelos y el 17 de junio como Día Nacional de los Suelos y se adoptan medidas para la conservación y protección de los suelos en el territorio nacional”.
Decreto ley 2811-74 Código de los recursos naturales renovables y protección del medio Ambiente.	<p>Artículo 1. El ambiente es patrimonio común. El estado y los particulares deben participar en su preservación y manejo, que son utilidad pública e interés social.</p> <p>Artículo 178.- Los suelos del territorio Nacional deberán usarse de acuerdo con sus condiciones y factores constitutivos.</p> <p>Se determinará el uso potencial de los suelos según los factores físicos, ecológicos, y socioeconómicos de la región.</p> <p>Según dichos factores también se clasificarán los suelos.</p> <p>Artículo 179.- El aprovechamiento de los suelos deberá efectuarse en forma de mantener su integridad física y su capacidad productora.</p> <p>En la utilización de los suelos se aplicarán normas técnicas de manejo para evitar su pérdida o degradación, lograr su recuperación y asegurar su conservación.</p>

Artículo 180.- Es deber de todos los habitantes de la República colaborar con las autoridades en la conservación y en el manejo adecuado de los suelos.

Las personas que realicen actividades agrícolas, pecuarias, forestales o de infraestructura, que afecten o puedan afectar los suelos, están obligados a llevar a cabo las prácticas de conservación y recuperación que se determinen de acuerdo con las características regionales.

Constitución política
de Colombia 1991.

Establece el derecho a gozar de un ambiente sano y el deber de proteger la diversidad e integridad del ambiente (artículo 79), buscando formar al ciudadano para la protección del ambiente (artículo 67).

Art. 80 “El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución”.

Modificación Ley 388
de 1997 por la cual se
modifica la Ley 9 de
1989, y la Ley 2 de
1991 y se dictan otras
disposiciones.

Establece la formulación y adopción de los planes y esquemas de ordenamiento territorial (POT). Ley 507 de 1999.

Política Nacional de Investigación Ambiental, 2001. Busca fortalecer la capacidad nacional y regional que impulse la generación y utilización oportuna de conocimientos relevantes para el desarrollo sostenible.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial
Viceministerio de Ambiente. 2004. Plan de Acción Nacional de lucha contra la desertificación y la sequía en Colombia.

ARTÍCULO 2.2.1.1.18.6. *Protección y Conservación de suelos.* En relación con la protección y conservación de los suelos, los propietarios de predios están obligados a:

Decreto 1076 de 2015

Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible

1. Usar los suelos de acuerdo con sus condiciones y factores constitutivos de tal forma que se mantenga su integridad física y su capacidad productora, de acuerdo con la clasificación agrológica del IGAC y con las recomendaciones señaladas por el ICA, el IGAC y Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

2. Proteger los suelos mediante técnicas adecuadas de cultivos y manejo de suelos, que eviten la salinización, compactación, erosión,

contaminación o revenimiento y, en general, la pérdida o degradación de los suelos.

3. Mantener la cobertura vegetal de los terrenos dedicados a ganadería, para lo cual se evitará la formación de caminos de ganado o terracetas que se producen por sobrepastoreo y otras prácticas que traigan como consecuencia la erosión o degradación de los suelos.

4. No construir o realizar obras no indispensables para la producción agropecuaria en los suelos que tengan esta vocación.

Entre otros.

Materiales y métodos

Área de estudio

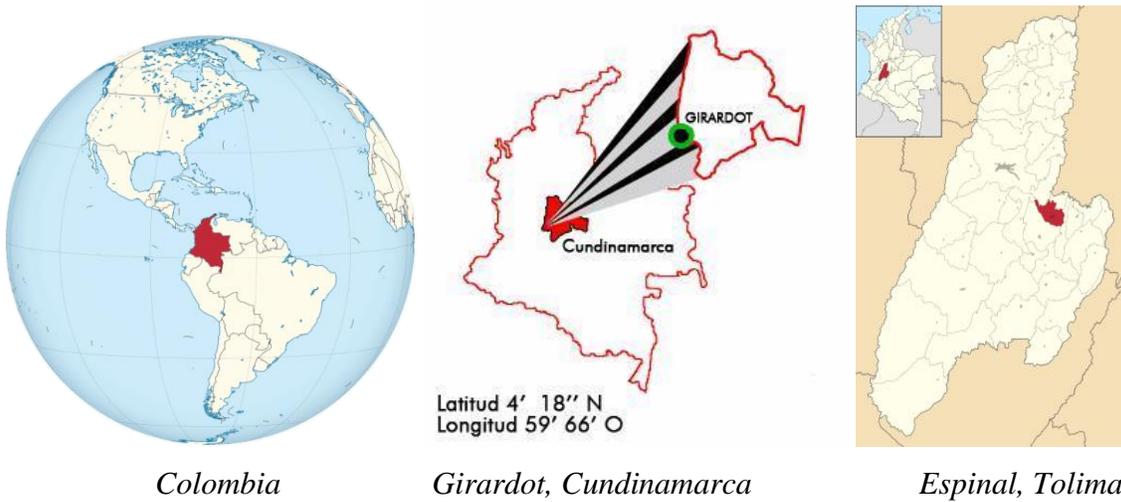
El presente estudio se realizará en Colombia, departamento de Cundinamarca en el municipio de Girardot en la Finca la Palmira ubicada en la Vereda Barzalosa ($4^{\circ}21'52''N$ $74^{\circ}47'20''W$) y el departamento del Tolima en el municipio de Espinal en la Finca la Franconia ubicada en la Vereda Sucre ($W4^{\circ}08'49''N$ $74^{\circ}55'01''W$). Estos municipios cuentan con una extensión de 12.900 Ha y 23.100 Ha respectivamente representadas en territorio urbano y se encuentran en la región del Valle del Magdalena.

Girardot es un municipio colombiano del departamento de Cundinamarca ubicado en la Provincia del Alto Magdalena, de la cual es capital. Limita al norte con los municipios de Nariño y Tocaima, al sur con el municipio de Flandes y el río Magdalena, al oeste con el municipio de Nariño, el río Magdalena y el municipio de Coello y al este con el municipio de Ricaurte y el río Bogotá. Está ubicado a 134 km al suroeste de Bogotá. La temperatura media anual es de $27.8^{\circ}C$ y se ubica a 326 msnm. Las tierras de Girardot son consideradas aptas para cultivos de maíz, sorgo, ajonjolí, algodón y arroz, los cuales se han tecnificado dadas las facilidades que las tierras planas ofrecen para el uso de maquinaria agrícola, también hay diversidad de frutales, especialmente de mango, limón y naranja. En la actualidad, en el municipio de Girardot solo se utiliza el 35% de las tierras aptas para ser cultivadas, lo que demuestra el declive que vive, aunque han sido propicias para la agricultura debido a las condiciones favorables de sus suelos, en el municipio de Girardot – Cundinamarca, se observaba el desaprovechamiento de los

recursos productivos y de las zonas rurales del Municipio, que aporta al fortalecimiento para ser competentes y lograr un mejor desarrollo económico (UMATA, 2019).

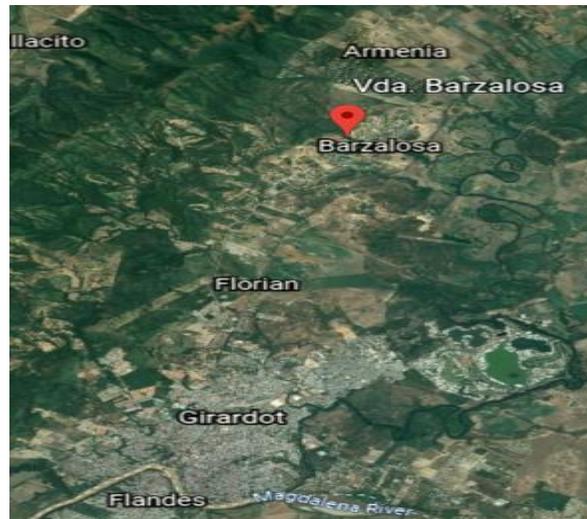
Por otro lado, Espinal es un municipio colombiano ubicado en el departamento de Tolima, a 153 km de Bogotá con dirección suroccidente, y a 57,6 km de Ibagué, capital departamental; es el segundo municipio más poblado del departamento del Tolima y es conocido como la capital arrocera del centro del país. La temperatura media anual es de 26.2 °C y se ubica a 323 msnm. Este Municipio es catalogado como región agrícola por excelencia, tiene más del 60% de su extensión de tierra apta para la producción de arroz, algodón y otros cultivos según su PBOT.

Figura 1. Mapas zona de trabajo



Fuente: Google Imágenes

Figura 2. Vereda Barzalosa



Vereda Barzalosa – Girardot, Cundinamarca

Fuente: Google Earth.

Figura 3. Vereda Sucre



Vereda Sucre – Espinal, Tolima

Fuente: Google Earth.

Recursos (Humanos, institucionales, físicos, logísticos, infraestructura y equipos)

Dentro de los recursos con los que se contará para la realización de este proyecto están los humanos encabezados inicialmente por el grupo de investigadores del IP y del equipo CSIC (Consejo Superior de Investigaciones Científicas) que está conformado por el Dr. José María de la Rosa Arranz responsable del grupo del IRNAS-CSICEL, el Dr. Marco Panettieri evaluador de la materia orgánica de los suelos y de los cambios originados por las distintas prácticas agrícolas, la Prof. Heike Knicker ha trabajado en la investigación de la materia orgánica de los suelos, Paloma Campos investigadora pre-doctoral en el IRNAS y el Dr. Rafael López es Científico Titular del CSIC, experto en la aplicación de enmiendas orgánicas (incluyendo compost) para la recuperación de tierras de cultivo degradadas; después está el grupo de investigadores de los Países de Ayuda Oficial al Desarrollo que está conformado por la Esp. María Aldaya y M.Sc.Héctor Fabio Cruz Cuellar en representación de la Universidad de Cundinamarca (UdeC), Programa de Ingeniería Ambiental, Seccional Girardot, Colombia. Grupo Udecino de Investigación Ambiental (GUIA), categorizado ante Colciencias en C, el Dr. Iván Orlando Cabeza Rojas y la Dra. Paola Andrea Acevedo Pabón en representación de la Universidad Santo Tomas (USTA), Programa de Ingeniería Ambiental, Bogotá, Colombia. Grupo INAM-USTA categorizado ante Colciencias en B, y finalmente Cesar Quiñones Segura y el Dr. Iván Orlando Cabeza Rojas en representación del Politécnico Grancolombiano (POLI); quienes serán los encargados de sensibilizar a la comunidad, los estudiantes de cada universidad y las autoridades sobre estrategias de desarrollo sostenibles de áreas en riesgo

de degradación y con un alto índice de biodiversidad, así como también la realización de los análisis requeridos para la caracterización fisicoquímica de los suelos.

Para los equipos requeridos, el IRNAS-CSIC cuenta con unos laboratorios equipados con todo lo necesario para una completa caracterización del suelo, , incluyendo la determinación de contaminantes inorgánicos (elementos traza), macro y micronutrientes (mediante análisis con absorción atómica, ICP-OES e ICP-MS), análisis elemental (C;H;N;S;O) caracterización de la materia orgánica de los suelos mediante técnicas espectroscópicas (^{13}C RMN estado sólido), cromatográficas (GC/MS y HPLC) y análisis de isótopos estables (^{13}C , ^{15}N mediante IR-MS). Cabe destacar que el IRNAS cuenta con un espectrómetro de RMN en estado sólido (Bruker 400 MhZ), el único en España dedicado exclusivamente a muestras de suelos y sedimentos. Además, el IRNAS lleva 20 años trabajando en la recuperación de suelos agrícolas degradados y suelos de la cuenca del río Guadiamar afectados en 1998 por el vertido del accidente de la mina de Aznalcollar. Para ello ha testado la efectividad de i) enmiendas procedentes de residuos agropecuarios, utilizando enmiendas residuales de procesos de tratamiento agropecuario, ii) plantas hyper-accumuladoras y iii) nuevos materiales rico en carbono como el biochar.

Metodología

El presente documento se realizó mediante la implementación del método cualitativo y cuantitativo, puesto que se realiza un análisis y estudio de las condiciones de los suelos en ecosistemas de Bosque Seco tropical (BST), para esto se realizó una búsqueda bibliográfica y un análisis multitemporal de imágenes satelitales de las veredas seleccionadas, Barzaloza (Girardot-Cundinamarca) y Sucre (El Espinal – Tolima) y un estudio de las condiciones del terreno a través de los sistemas de información geográfica, identificación de la zona de estudio por georreferenciación, recolección y preparación de muestras de suelo obtenidas en las veredas anteriormente mencionadas, caracterización fisicoquímica en el laboratorio a cargo del equipo IRNAS-CSIC, que incluye: pH, conductividad eléctrica (CE), capacidad de retención de agua (WHC), materia orgánica (Método de Walkley-Black), Nitrógeno total (Kjeldahl), N – Nitratos, N – Amonio, fósforo (Método Olsen) y Espectroscopia de plasma ICP-OES (Plasma de Acoplamiento Inductivo - Espectrofotómetro de Emisión Óptico), adquisición de enmiendas obtenidas a partir de residuos de poda de la Universidad de Cundinamarca, de igual manera, caracterización fisicoquímica de la enmienda, recepción de biomasa residual pirolizada (biochar) para la enmienda de los suelos y finalmente, para estudiar el efecto de las enmiendas sobre la producción de biomasa se realizaron varios ensayos de incubación de suelos. Cabe aclarar que, este trabajo de investigación será un aporte referencial para futuros proyectos que busquen contribuir de manera positiva para la identificación y desarrollo de estrategias a nivel internacional que contrarreste la degradación de suelos de manera efectiva con altos niveles de rendimiento en los diferentes ecosistemas de Bosque

Seco Tropical (BST), y como forma de verificación mediante la aplicabilidad de estos procesos para la veracidad y el impacto de estas herramientas para la recuperación de suelos degradados.

Cálculo del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) de la vereda Sucre (Espinal – Tolima) y Vereda Barzalosa (Girardot – Cundinamarca)

El índice de vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) es un indicador simple de biomasa fotosintéticamente activa o, en términos simples, un cálculo de la salud de la vegetación (Toribio, 2019). El estudio se realizó en el periodo comprendido entre los años 2015 a 2021, con la finalidad de analizar los cambios en la cobertura vegetal ocasionados por actividades antropogénicas en las zonas de estudio, y de igual manera, identificar el estado de los suelos teniendo en cuenta el uso de suelo estipulado para cada lugar ante el POT en caso del municipio de Girardot y el PBOT en el municipio de Espinal.

Obtención de imágenes satelitales

Para la obtención de las imágenes satelitales requeridas en el análisis multitemporal, se eligieron aquellas generadas por el satélite Sentinel – 2, constelación de dos satélites S2A lanzado el 23 de junio de 2015 y S2B lanzado el 7 de marzo de 2017 (Tudare & Trejo, 2017). Estas se descargaron a través de la plataforma USGS Earth Explorer en formato WinRAR con todas las bandas espectrales requeridas para el cálculo

de NDVI de los años 2015, 2017, 2019 y 2021 de cada vereda (Tabla 2); para esto se realizó el debido registro ante la plataforma como usuario estudiantil y se especificaron los puntos de georreferencia de las zonas para la generación de los datos requeridos. De igual manera, se tuvo en cuenta la resolución y tiempos en los cuáles no se presentará nubosidad en la zona al momento de seleccionar las imágenes satelitales, esto con el fin de mejorar la calidad visual y evitar la presencia de componente intrusivo de la atmósfera.

Imágenes satelitales Sentinel – 2 implementadas en el desarrollo del cálculo

NDVI:

Tabla 1. Identificación de imágenes Satelitales

VEREDA SUCRE MUNICIPIO DE ESPINAL – TOLIMA		
ARCHIVO	FECHA	SENSOR
S2A_OPER_MSI_L1C_TL_SGS__20151221T153336_20151221T194344_A002596_T18NWK_N02_01_01	21-12-2015	SENTINEL 2
S2A_MSIL1C_20170901T152641_N0205_R025_T18NWK_20170901T152638.SAFE	01-09-2017	SENTINEL 2
S2A_MSIL1C_20190911T152641_N0208_R025_T18NWK_20190911T202930.SAFE	11-09-2019	SENTINEL 2

S2B_MSIL1C_20210207T152639_N02 09_R025_T18NWK_20210207T190114 .SAFE	07-02-2021	SENTINEL 2
VEREDA BARZALOSA MUNICIPIO DE GIRARDOT – CUNDINAMARCA		
ARCHIVO	FECHA	SENSOR
S2A_OPER_MSI_L1C_TL_SGS__201 51221T153336_20151221T194344_A0 02596_T18NWK_N02_01_01	21-12-2015	SENTINEL 2
S2A_MSIL1C_20170901T152641_N02 05_R025_T18NWK_20170901T152638 .SAFE	01-09-2017	SENTINEL 2
S2A_MSIL1C_20190812T152641_N02 08_R025_T18NWK_20190812T202713 .SAFE	12-08-2019	SENTINEL 2
S2B_MSIL1C_20210207T152639_N02 09_R025_T18NWK_20210207T190114 .SAFE	07-02-2021	SENTINEL 2

Fuente. Propia.

Disponiendo de estas imágenes se procesan por el programa Arcgis 10.8 para realizar el debido recorte y selección de bandas espectrales para el desarrollo del cálculo de NDVI.

Procesamiento de imágenes y cálculo de índice de vegetación normalizada (NDVI)

El NDVI es un buen estimador de la fracción de la radiación fotosintéticamente activa interceptada por la vegetación (el control principal de las ganancias de carbono y la productividad primaria), las cuales, en conjunto, permiten interpretar la actividad del ecosistema en un momento dado (M Tudare & P Trejo, 2017). Según Millano & Paredes (2017) estos datos se obtienen de la absorción diferencialmente la radiación solar incidente visual (rango de longitudes de onda cercana al rojo) y refleja gran parte del infrarrojo cercano (NIR, por sus siglas en inglés), dada la siguiente formulación:

$$NDVI = \frac{NIR - ROJO}{NIR + ROJO}$$

Al implementar este índice se tuvo en cuenta toda el área de la zona que comprende las veredas, para identificar claramente el estado de los suelos y la vegetación de los lugares.

Para los resultados del cálculo del NDVI se aplicaron rangos de < 0 y $> 0,5$. Los valores negativos hasta 0 correspondieron a suelos degradados, rocas, nubes; el suelo en reposo que se encuentra en un rango de 0 a 0,1; la vegetación enferma que estará entre los 0,1 y 0,2, la vegetación medianamente conservada y cultivos que se encontrará entre los 0,2 y 0,5, y para finalizar la vegetación conservada que se encontrará en los valores $>0,5$. Es importante resaltar que hay que tener siempre en cuenta la calidad de la imagen satelital a la hora de realizar el cálculo del índice de vegetación de diferencia normalizada.

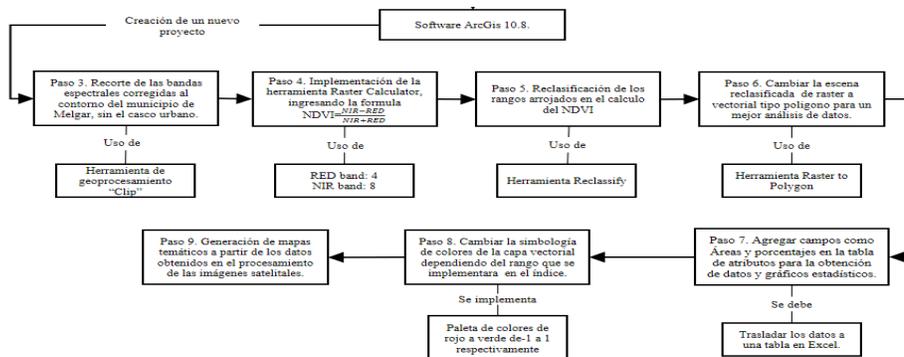
Tabla 2. Interpretación del NDVI

NDVI	TIPO DE VEGETACIÓN
< 0	Suelos degradados
0 - 0,1	Suelo en reposo
0,1 – 0,2	Vegetación Enferma
0,2 – 0,5	Cultivos
>0,5	Vegetación Conservada

Fuente: Índice de Vegetación Normalizada, 2018.

Para el procesamiento de las imágenes y su análisis se hizo uso de un software GIS el cual fue ArcGis en su versión 10.8 con las bandas espectrales 4 y 8 para el cálculo de NDVI, el diagrama del proceso se presenta a continuación:

Figura 4. Diagrama de proceso del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada.



Fuente: Análisis Multitemporal del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) en el Municipio de Melgar - Tolima, implementando Herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), 2020.

Análisis fisicoquímico para evaluar el estado del recurso suelo en la fincas La Franconia (Vereda Sucre – Espinal, Tolima) y La Palmira (Vereda Barzalosa – Girardot, Cundinamarca)

Identificación de la zona de estudio

Para la parte de la identificación de la zona de estudio, inicialmente se realizó la georreferenciación de las fincas La Franconia (Vereda Sucre – Espinal, Tolima) y La Palmira (Vereda Barzalosa – Girardot, Cundinamarca) a través de la aplicación Google Earth Pro, donde se tomó en cuenta que fueran predios ubicados en zonas con presencia de Bosque Seco Tropical y en los cuales se tomaron las muestras de los suelos con altos índices de degradación, suelos en procesos de degradación y suelos vírgenes.

Tabla 3. Límites Finca La Franconia (Vereda Sucre - Espinal, Tolima) y Finca La Palmira (Vereda Barzalosa – Girardot, Cundinamarca)

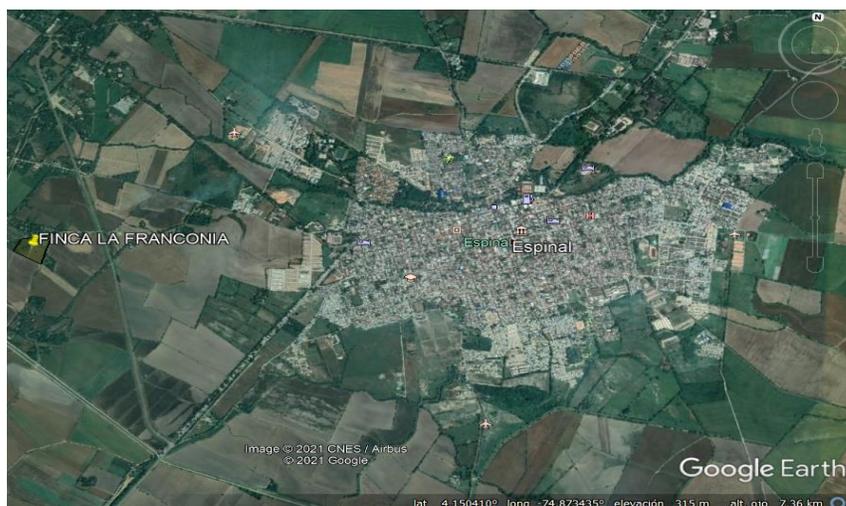
FINCA LA FRANCONIA		
PUNTO	N	O
1	4° 8'51.76"N	74° 54'58.49"O
2	4° 8'42.69"N	74° 54'59.95"O
3	4° 8'46.17"N	74° 55'7.28"O
4	4° 8'49.88"N	74° 55'5.75"O
FINCA LA PALMIRA		
PUNTO	N	O
1	4°21'40.46"N	74°48'0.12"O
2	4°21'41.28"N	74°48'2.00"O
3	4°21'39.76"N	74°48'2.56"O
4	4°21'38.67"N	74°48'1.05"O

Fuente. Google Earth Pro, 2021.

Finca la Franconia (Vereda Sucre – Espinal Tolima)

La finca La Franconia se encuentra ubicada en la Vereda Sucre a 3 km del casco urbano del municipio de Espinal, Tolima en las coordenadas $4^{\circ} 8'47.09''N$, $74^{\circ}55'2.98''O$ (figura 15), predio donde durante la realización de esta investigación se tomaron las muestras respectivas en tres parcelas diferentes (suelo degradado, suelo en reposo y suelo virgen) para el análisis fisicoquímico que permitió la evaluación del estado del recurso suelo en esta zona de estudio. Se caracteriza por encontrarse en zonas clasificadas como Ecosistema de Bosque Seco Tropical (BST), al encontrarse por debajo de los 1000 msnm, con temperaturas superiores a los $24^{\circ} C$. Así mismo, se define que estas zonas están perdiendo poco a poco su cobertura original de BST debido a la implementación de monocultivos (algodón, maíz, sorgo, arroz), por la tala para el uso de terrenos para zonas agrícolas de riego y para expansión urbana.

Figura 5. Ubicación de Finca La Franconia (Vereda Sucre – Espinal, Tolima)



Fuente: Google Earth, 2021.

Finca La Palmira (Vereda Barzalosa – Girardot, Cundinamarca)

La finca La Palmira se encuentra ubicada en la Vereda Sucre a 6 km del casco urbano del municipio de Girardot, Cundinamarca en las coordenadas 4°21'41.10"N, 74°48'1.70"O (figura 17), predio donde durante la realización de esta investigación se tomaron las muestras respectivas en tres parcelas diferentes (suelo degradado, suelo en reposo y suelo virgen) para el análisis fisicoquímico que permitió la evaluación del estado del recurso suelo en esta zona de estudio. En Girardot (Cundinamarca) el área forestal protectora de bosque seco abarca 3064,54 ha, es decir, el 38.28% del área municipal (GIRARDOT, 2020). Aunque solo el 3,3% de la población vive en el sector rural, el 13% desarrolla alguna actividad agrícola (principalmente monocultivos transitorios), el 96.8% actividades pecuarias, el 1.1% actividades piscícolas y, la mayoría de las viviendas tienen dos o tres de estas actividades (DANE, 2019). Teniendo en cuenta lo anterior, por eso se decidió realizar la toma de muestras en este sitio, porque es catalogado por sus condiciones como Ecosistema de Bosque Seco Tropical.

Figura 6. *Ubicación de Finca La Palmira (Vereda Barzalosa – Girardot, Cundinamarca).*



Fuente: Google Earth, 2021.

Muestreo y análisis de suelos

Toma y preparación de muestras

Se realizó la visita a las dos fincas mencionadas anteriormente, establecida en el cronograma de actividades con el fin de determinar los sitios de mayor influencia para el muestreo, así mismo con la ayuda de herramientas (pala y barra) se tomaron los 20 cm de profundidad en los puntos de muestreo en cada parcela (suelo degradado, suelo en reposo y suelo virgen). Después de esto el material extraído se depositó en 3 fibras rotuladas con el nombre de cada tipo de suelo, para su posterior homogenización mezclando las porciones extraídas de los 3 puntos diferentes de las parcelas elegidas, obteniendo así una sola muestra representativa para cada sección de suelo seleccionado.

Posteriormente, con el fin de preparar las muestras, para su manejo, clasificación y etiqueta se llevaron las fibras con el material obtenido durante el muestreo al laboratorio de Aguas de la universidad de Cundinamarca Seccional Girardot, donde antes de ser empacadas la muestras en bolsas ziploc, se realiza un tamizado de las muestras (uso de tamiz retiro de material >5 mm) para extraer objetos ajenos o que puedan interferir durante el análisis. Después de tener listas las muestras, se dispone la entrega al encargado de enviar las muestras al Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla (IRNAS) en España, para la realización de los análisis y caracterización fisicoquímica con los métodos establecidos en el laboratorio.

Caracterización fisicoquímica

El pH y la conductividad eléctrica se midieron utilizando un medidor de pH Crison 40 y un conductímetro Crison Basic 20 (Crison, España) respectivamente en una mezcla de AC y agua destilada (1:10) según De la Rosa et al. (2014). El porcentaje de carbono (%C) se determinó por triplicado mediante métodos secos de combustión (1000 ° C) utilizando un LECO Truspec micro CHNS (LECO, Estados Unidos).

El Potasio (K) y demás elementos se determinaron mediante ICP-OES (Varian ICP 720-ES, Agilent Technologies, Santa Clara, California, EE.UU.) y se expresaron en base al peso seco (DW) expuesto por Dahlquist y Knoll en 1978, de igual manera para la determinación del fósforo se realizó por el método Oslen donde durante esta extracción se usa una solución de bicarbonato de sodio a un pH de 8.50. En los suelos calcáreos o alcalinos los iones de bicarbonato causan la precipitación del calcio como CaCO_3 , y por lo tanto la actividad de calcio en la solución disminuye. Esto facilita la extracción de los fosfatos de calcio más solubles. En los suelos más ácidos los Iones de bicarbonato, reemplazan a los fosfatos de aluminio y hierro, el Incremento del pH de la solución facilita la extracción de fosfato de las superficies que tienen una carga dependiente del pH. Las concentraciones de Cd y Pb también fueron expresadas en base al peso fresco (Cd FW y Pb FW). El nitrógeno total se determinó por espectrofotometría en un autoanalizador de flujo (AA3, Bran+Luebbe, Nordesrstedt, Alemania) tras la digestión Kjeldahl, donde se cumplieron con los procesos de preparación, digestión, destilación y titulación. Las muestras de suelo se secaron al aire y se tamizaron. La concentración de

materia orgánica del suelo (SOM) y el Carbono orgánico, se determinó mediante el método de combustión húmeda de Walkley-Black expuesto por Nelson y Sommers en 1982, en el cual el suelo se hizo la oxidación con una solución de dicromato de potasio estandarizada, utilizando el calor producido por la dilución de ácido sulfúrico concentrado, en la solución crómica. Los metales extraíbles (Pb, Zn, Ni, Cu, Ca, Ba, As, Cd) con el agente quelante EDTA (ácido etilendiaminotetraacético) fueron en muestras de MI agitando 2,5 g de suelo con 25 ml de 0,05 mol l⁻¹ EDTA a pH 7 durante 1 hora (Ure et al. 1993). Para encontrar una conexión directa entre el Pb y su fuente hipotética, las partículas más gruesas de 5 mm de las muestras de suelo de 10 L MI fueron de suelo de 10 L MI se clasificaron a mano. Muestras de aproximadamente 150 g de estos fragmentos gruesos fueron también con EDTA y los extractos se analizaron en busca de metales.

Para el análisis, los nitritos se extrajeron con KCl 1N, siguiendo el procedimiento propuesto por Keeney y Nelson (1982), y para la determinación se utilizó un electrodo de ion selectivo para nitritos (marca Orion modelo 95-46), acoplado a un potenciómetro Corning 350. En el caso de la determinación de Amonio se realizó a través del método colorimétrico el cual es considerado como el más rápido y el más usado para la determinación del amonio en el suelo, el cual se basa en la reacción de Berthelot (1859); a veces se le llama la reacción del azul Indofenol. En la reacción el amonio en el extracto de suelo (KCl 1 M) reacciona con un fenol en una solución alcalina en la presencia de un agente oxidante, normalmente hipoclorito. En este método se usó salicilato de sodio y

dicloroisocianurato de sodio como el fenol y el hipoclorito respectivamente. Estas soluciones son más estables y menos tóxicas. El complejo que resulta de la reacción tiene un color verde azul lo cual se puede medir manualmente o automáticamente a una longitud de onda de 660 nm. En este método se usó un autoanalizador para automatizar el proceso.

Para determinar la capacidad de retención de agua en los suelos normalmente se analizan los suelos después de que hayan sido secados al aire. Para esto se reportan los resultados basados en el suelo secado a 105 °C. Esto facilita la comparación de resultados de suelos secados al aire a temperaturas diferentes que hayan sido obtenidos en épocas diferentes o de varios laboratorios. Cuando se conoce la humedad de un suelo se puede calcular el peso del suelo secado a 105 °C del secado al aire y usar un factor de conversión para obtener todos los resultados basados en el suelo secado a 105 °C.

Procedimiento:

1. Se pesó un crisol (X.OOOO g)
2. Se pesó en el crisol varias cantidades en gramos de cada muestra de suelo secado al aire.
3. Se puso el crisol en el horno a una temperatura de 105 °C por 24 horas.
4. Se dejó enfriar en un desecador y se pesó de nuevo.
5. Por convención se calcula la humedad en base del suelo seco a 105°C:

- **Humedad %:** suelo seco al aire (o) - suelo seco al 105°C / suelo seco a 105 °C *

100

6. Para convertir los resultados a suelo secado al 105 °C se usó el factor de conversión (FC):

- $FC = \text{suelo seco al aire} / \text{suelo seco a } 105^{\circ}\text{C}$

Para el control de calidad de los procedimientos analíticos se tomaron muestras de suelo del programa de evaluación de Wageningen para laboratorios analíticos según Houba et al. en 1996, se analizaron junto con las muestras. Los resultados obtenidos con estas muestras de control coincidieron en $\pm 5\%$ con los resultados certificados.

Estudio del efecto de un abono orgánico y biochar en la producción de biomasa

Obtención de enmienda

Se da la adquisición de la enmienda obtenida a partir de residuos de poda de la Universidad de Cundinamarca. Abono que ha sido preparado por estudiantes del programa de Ingeniería Ambiental como componente de un Proyecto Integrador de Semestre (PIS) del núcleo temático de restauración ambiental de V semestre y el Sistema de Gestión Ambiental de la Seccional Girardot.

El proceso para la elaboración del compostaje se realizó por el método de aireación manual en pila de compostaje con el fin de proporcionar un abono orgánico para ser utilizado en las plantas del campus universitario y así sustituir el uso de abonos químicos, de esta manera recuperar los nutrientes en el suelo y mejorar su estructura. Para esto se dividió el proceso en las siguientes fases:

Fase 1: Adecuación área de producción. Inicialmente se identificó un espacio adecuado donde se llevó a cabo el diseño y realización de una fosa de 1m de profundidad, 11 m de largo y 2 m de ancho.

Fase 2: Adecuación áreas de oxigenación. La fosa realizada se dividió en dos partes iguales de 5,5m de largo con un trinquete hecho de guadua

Fase 3: Clasificación y adecuación de la hojarasca. Son dos las rutas principales para el transporte de la materia orgánica (hojarasca) recolectada en los bloques académicos, áreas sociales, zonas verdes y demás espacios del campus universitario para la respectiva selección antes del proceso de triturado.

La primera ruta saldrá del bloque académico por el sendero que conduce a la cafetería con el fin de cubrir esta zona de la universidad, a continuación, avanza pasando

por el costado izquierdo del bloque administrativo hasta llegar a los baños mixtos de la zona deportiva, al realizar un giro a la derecha de 90° y avanzar aproximadamente 50 metros se encuentra el área de clasificación y triturado de residuos.

La segunda ruta tiene punto de partida en la entrada principal del bloque académico pasando por el costado izquierdo del auditorio y tomando una diagonal a la izquierda hacia la cancha de fútbol, al avanzar a simple vista al costado izquierdo se verán las casetas designadas como área de clasificación y triturado de residuos.

Se debe clasificar, secar y triturar la hojarasca recolectada por los operarios/as de servicios generales de la universidad en las áreas de recolección primarias, las cuales son: Cafetería 'El hueco', cafetería de atrás y bloque académico.

Los materiales que se tuvieron en cuenta para la producción del compost, son:

- 1. Materia seca o marrón:** Mezcla de hojas secas, ramas, aserrín y cajas de huevos.
- 2. Materias verdes:** Restos orgánicos, hierba, residuos vegetales y de poda generada.
- 3. Tierra:** nos ayuda a dar la textura que se necesita para el compostaje.
- 4. Agua:** mantener el material con la humedad respectiva.

1° Capa: Se depositó ramas y material grueso en el fondo de la fosa, se hizo con el fin de separar el suelo de la materia orgánica y sirve como filtro para aislar plagas que pueden alimentarse del biomaterial.

2° Capa: Luego de la recolección y trituración del material principal (hojarasca), se depositó este formando una capa un poco gruesa.

3° Capa: Se agregó una capa voluminosa de residuo de poda cubriendo cada uno de los espacios, con el fin de impedir el acceso de los roedores y vectores.

4° Capa: Se humedece y se agregó materiales marrones (caja de huevos).

La compostera se tapó con capas de tierra de 5 centímetros aproximadamente y se volvió a humedecer hasta que tenga un 40% o 60% de humedad. De acuerdo a un cronograma de actividades planteado por los diferentes estudiantes que hacen parte del proyecto de P.I.S, el volteo se llevó a cabo día de por medio, las variables físicas y químicas de la compostera tales como la humedad, la medición de pH y de temperatura, se realizaron de igual forma día de por medio.

Obtención de biomasa residual pirolizada (biochar) para la enmienda de los suelos

Para la obtención del Biochar fue a través del equipo IRNAS, quienes enviaron el biocarbón para aplicación durante el proceso experimental con los ensayos de incubación, ya los investigadores del IRNAS-CSIC dirigidos por J.M. De la Rosa y H. Knicker han

venido estudiando desde hace varios años las relaciones entre las propiedades del biocarbón y la productividad agronómica. El biocarbón que ellos usan es un material carbonoso que se obtiene de la pirólisis de la biomasa. El método implementado para la producción del biochar es la pirolisis, que es un proceso termoquímico usado para transformar biomasa y otros materiales orgánicos de baja densidad energética ($\sim 1.5 \text{ GJ m}^{-3}$) a: líquidos de alta densidad energética, conocidos como bio-aceites ($\sim 22 \text{ GJ m}^{-3}$ o $\sim 17 \text{ MJ kg}^{-1}$), a sólidos de alta densidad energética conocidos como biocarbón ($\sim 18 \text{ GJ kg}^{-1}$) y a un gas de relativamente baja densidad energética, conocido como gas de síntesis (syngas) ($\sim 6 \text{ MJ kg}^{-1}$). El biocarbón de madera en este caso fue producido a partir de madera de álamo en un reactor de lecho fijo con un tiempo de residencia de 30 minutos y una temperatura de pirólisis de $520 \text{ }^\circ\text{C}$.

Caracterización fisicoquímica de las enmiendas

➤ Determinación de %MO Y %C

La concentración y porcentaje de materia orgánica del suelo (SOM) y el Carbono orgánico, se determinó mediante el método de combustión húmeda de Walkley-Black expuesto por Nelson y Sommers en 1982, en el cual el suelo se hizo la oxidación con una solución de dicromato de potasio estandarizada, utilizando el calor producido por la dilución de ácido sulfúrico concentrado, en la solución crómica.

➤ *Determinación % de Humedad*

El contenido de humedad se determinó utilizando el método estandarizado de secado de la muestra a 105°C durante un periodo de 24 horas. La pérdida de masa de las muestras a 105°C es agua, por lo tanto la diferencia de peso en las muestras antes y después de ser expuestas a dicha temperatura, representará el contenido de humedad y la materia seca corresponderá a un 100% menos el contenido de humedad de la muestra, por otro lado el contenido de humedad para muestras líquidas se expresará como el volumen de agua en relación al volumen de la muestra.

Para muestras sólidas se siguió el siguiente procedimiento

- Pesar de 5 a 10 g aproximadamente de la muestra húmeda (P0), en un crisol previamente tarado (T) en una balanza de precisión (± 0.01 g).
- Secar la muestra en la estufa a 105°C durante al menos 18 horas. Sacar la muestra de la estufa, dejar enfriar en el desecador y pesar (PF).
- Determinar el porcentaje de humedad (%H) y el porcentaje de materia seca (%MS) según las ecuaciones 1.1 y 1.2:

$$\%H = \frac{(P0 - PF)}{P0 - T} * 100$$

$$\%MS = 100 - \%H$$

➤ *Determinación de Sólidos Totales*

Los sólidos totales comprenden todos los residuos sólidos que se obtienen cuando ocurre la evaporación de una muestra y su secado a una temperatura determinada. El valor de los sólidos totales incluye los sólidos disueltos totales y los sólidos suspendidos totales, de manera que cuando una cantidad de muestra en específico se lleva a secado, entre 103 -105°C hasta peso constante, el incremento en el peso del recipiente en el que fue dispuesto representa los sólidos totales presentes en la muestra.

Para la determinación de sólidos totales se siguió el siguiente procedimiento:

1. Se preparó el crisol: se marcaron las capsulas de porcelana con un número que identifique los diferentes tipos de muestra a evaluar. Llevándolo al horno dos crisoles por muestra, secarlos a 103 – 105°C durante dos horas, llevar al desecador y dejar enfriar; finalmente se registrara el peso de la capsula.
2. Preparación de muestras liquidas: Se agitó la muestra, para tomar una alícuota de 100 ml, y transferir un volumen a la capsula correspondiente, registrando el volumen. Se colocó la capsula en un baño maría precalentado a temperatura de ebullición del agua; donde al finalizar se retiró el baño cuando se secó totalmente.

3. Para las muestras solidas: Se depositó en cada crisol una muestra homogenizada, y se registró el peso de la capsula.

4. Se llevó las muestras al horno a 103 – 105°C hasta que la muestra estuvo seca, se dejó enfriar en desecador y luego se pesó.

5. Luego de esto, se llevó nuevamente los crisoles al horno durante una hora, se dejaron enfriar en desecador y se pesaron, se repitió el ciclo hasta el peso constante o hasta que la diferencia con el peso anterior fuera menor al 4%.

$$ST \left(\frac{mg}{kg} \right) = \frac{(c-a)*1000}{(b-a)}$$

$$\text{Si muestra liquida: } ST \left(\frac{mg}{l} \right) = \frac{(c-a)*1000}{v}$$

a Peso del crisol vacío (mg)

b Peso del crisol más muestra húmeda (mg)

c Peso del crisol más muestra seca (mg)

v Volumen de la muestra deseada (ml)

➤ *Determinación de %SV*

Los sólidos fijos son considerados aquellos que permanecen cuando se calienta un residuo previamente evaporado y sometido a ignición a 550°C; a el peso perdido durante la ignición se le denomina solidos volátiles, puesto que son los sólidos que se volatilizan durante la calcinación. De tal manera, el laboratorio cosiste en someter una cantidad de muestra conocida a calcinación a 550°C; así al perder peso por volatilización de compuestos determinados solidos volátiles y el resto del residuo que permanece en el recipiente, corresponde a los sólidos volátiles.

Se siguió el siguiente procedimiento para su determinación:

1. Habiendo realizado previamente la determinación de solidos totales se tomaron los crisoles que contienen las muestras, para ser llevados a una mufla de 550°C durante una hora.
2. Se apagó y se dejó que bajara la temperatura, para poder sacar los crisoles y pasarlos al desecador.
3. Se pesó y se repitió el ciclo anterior hasta el peso constante o hasta que la diferencia con el peso anterior sea menor al 4%.

$$SV \left(\frac{mg}{kg} \right) = \frac{(c - d) * 1000}{(b - a)}$$
$$SF \left(\frac{mg}{kg} \right) = \frac{(d - a) * 1000}{(b - a)}$$

a Peso del crisol vacío (mg)

b Peso del crisol más muestra húmeda (mg)

c Peso del crisol más muestra seca (mg)

d Peso del crisol más muestra calcinada (mg)

Ensayos de incubación de suelos

Para estudiar el efecto de las enmiendas sobre la producción de biomasa se realizaron varios ensayos de incubación de suelos para cada finca. Para esto se establecieron tres tipos de tratamientos para los suelos con alto índice de degradación (DEGR – Suelos Degradados) y en proceso de degradación (PROC – Suelos en Reposo), que consistieron en un tratamiento control (sin enmienda), un tratamiento con enmiendas orgánicas (abono obtenido de la Universidad de Cundinamarca Seccional Girardot) y un tratamiento con biochar, aplicando 100 g en cada maceta tanto del abono como del biochar. El suelo REF (nativo del bosque tropical) también se incubó para poder usar su evolución como control. Para esto se prepararon un total de 21 macetas con la tierra sobrante en las fibras de cada parcela de suelo seleccionado del muestreo inicial para la disposición en las macetas, y se sembraron en ellas *Brachiaria Decumbens*, que es una planta autóctona forrajera de tipo C4 normalmente. El ensayo duró aproximadamente 5 meses, con muestreos a tiempo cero y al final del ensayo, esto teniendo en cuenta de igual manera que el presente proyecto de investigación se ha venido desarrollando desde el año

2018, pero presentando problemas al momento del desarrollo del montaje experimental por condiciones del sitio donde se mantenían las macetas y por el tema del COVID 19, que es una problemática presente no solo a nivel nacional sino también a nivel mundial. Después de pasados los primeros 4 meses en el caso de las macetas de los suelos de Girardot (Vereda Barzalosa) se realizó el primer corte y 4 meses después el segundo corte, por el contrario para las macetas de los suelos del Espinal (Vereda Sucre) solo se realizó un corte a los 4 meses para el análisis de producción de biomasa.

Figura 7. Montaje Experimental



Fuente. Propia.

Figura 8. Montaje Experimental



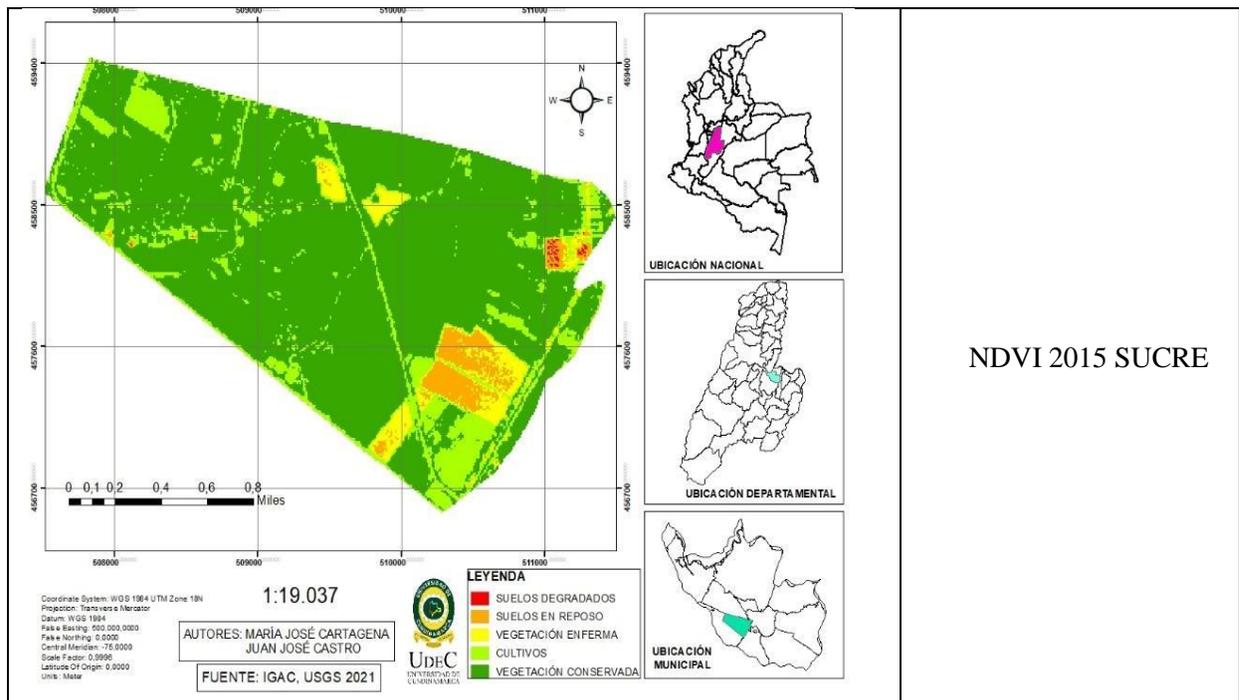
Fuente. Propia

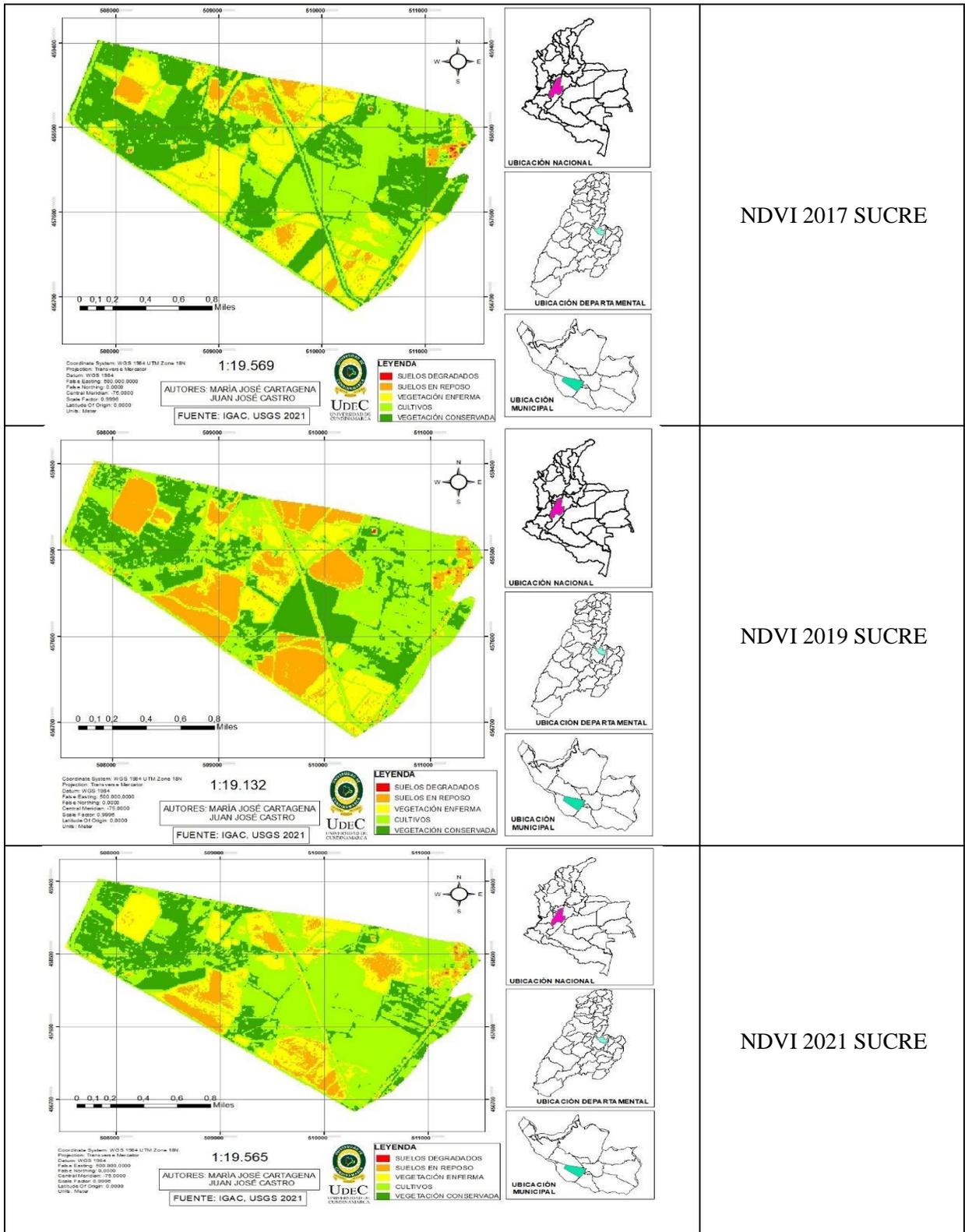
Resultados y discusión

Análisis Multitemporal e identificación de uso de suelo

A partir del Cálculo del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) se analizó el cambio del uso de suelo en las veredas Barzalosa y Sucre de los municipios de Girardot (Cundinamarca) y El Espinal (Tolima) respectivamente, la información se presenta en los siguientes mapas y se evidencian lo cambios mediante gráficos:

Tabla 4. Mapas de NDVI Vereda Sucre – Espinal, Tolima.





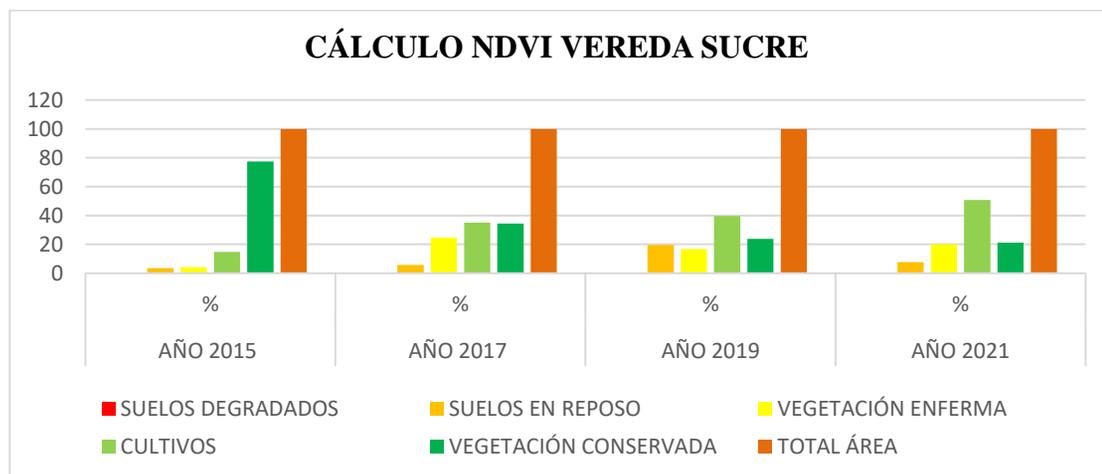
Fuente: Autores, datos obtenidos en Arcgis.

NDVI	AÑO 2015		AÑO 2017		AÑO 2019		AÑO 2021	
	AREA (Ha)	%	AREA (Ha)	%	AREA (Ha)	%	AREA (Ha)	%
SUELOS DEGRADADOS	0,007976	0,1294489	0,552183	0,08962	0,417205	0,06771154	0,134978	0,02190666
SUELOS EN REPOSO	0,213756	3,4692173	35,10658	5,69773	120,572265	19,5686376	48,223998	7,82665846
VEGETACIÓN ENFERMA	0,262594	4,2618484	152,463911	24,7446	103,233713	16,7546253	124,425277	20,1939737
CULTIVOS	0,909875	14,76709	216,34537	35,1124	245,328852	39,8163823	312,547951	50,7259076
VEGETACIÓN CONSERVADA	4,767304	77,372395	211,68249	34,3556	146,598499	23,7926433	130,818331	21,2315536
TOTAL	6,161505	100	616,150534	100	616,150534	100	616,150535	100

Tabla 5. Resultados cálculo NDVI Vereda Sucre del año 2015, 2017, 2019 y 2021

Fuente: Autores, datos obtenidos en Arcgis.

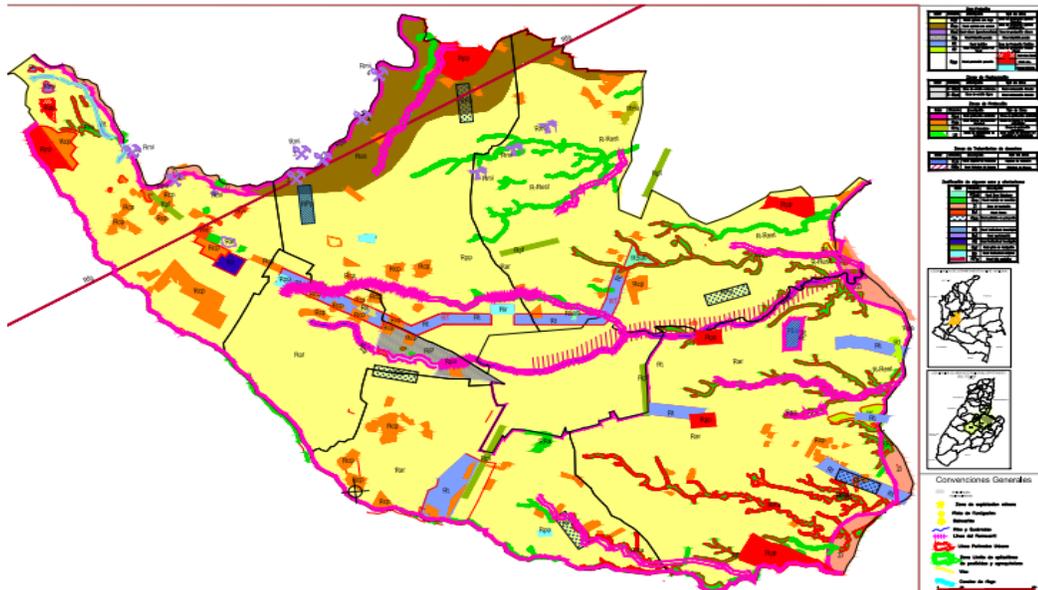
Figura 9. Gráfica porcentajes cálculo de NDVI Vereda Sucre.



Fuente: Autores, datos obtenidos en Arcgis.

Según el acuerdo 001 del 26 de Febrero de 2001 “**Por medio del cual se adopta el plan básico de ordenamiento territorial del Municipio del Espinal (PBOT) y se dictan otras disposiciones**”, respectivamente en su capítulo 6, en el artículo 30 donde se especifica la ZONIFICACIÓN DEL USO DE SUELO RURAL, se indica que la Vereda Sucre presenta como uso principal zonas productivas descritas como Zona de Producción Agrícola Intensiva (Rural Agrícola con Riego), uso secundario zonas de protección descritas como Zona de Protección Ambiental (Rural Protección Ambiental) y como uso terciario zonas de algunos usos y afectaciones descritas como Rural Poblados en Prospectiva (Ilustración 9). Para esto se realizó el análisis multitemporal, con el fin de identificar el cambio teniendo en cuenta el uso de suelo establecido para la zona de estudio.

Figura 10. Mapa de usos de suelo Rural. R4



Fuente: Alcaldía Municipal del Espinal, 2021.

Se evaluaron inicialmente los cambios entre los años 2015, 2017, 2019 y 2021 de la Vereda Sucre ubicada en el municipio de Espinal, Tolima con la finalidad de detectar el cambio que han tenido alrededor de estos años de acuerdo al uso de suelo que se presenta en la zona. Para ello se realizó inicialmente el Cálculo del índice de Diferencia Normalizada (NDVI), después de esto se registró la información obtenida de la clasificación de suelos según el índice en tablas y gráficos.

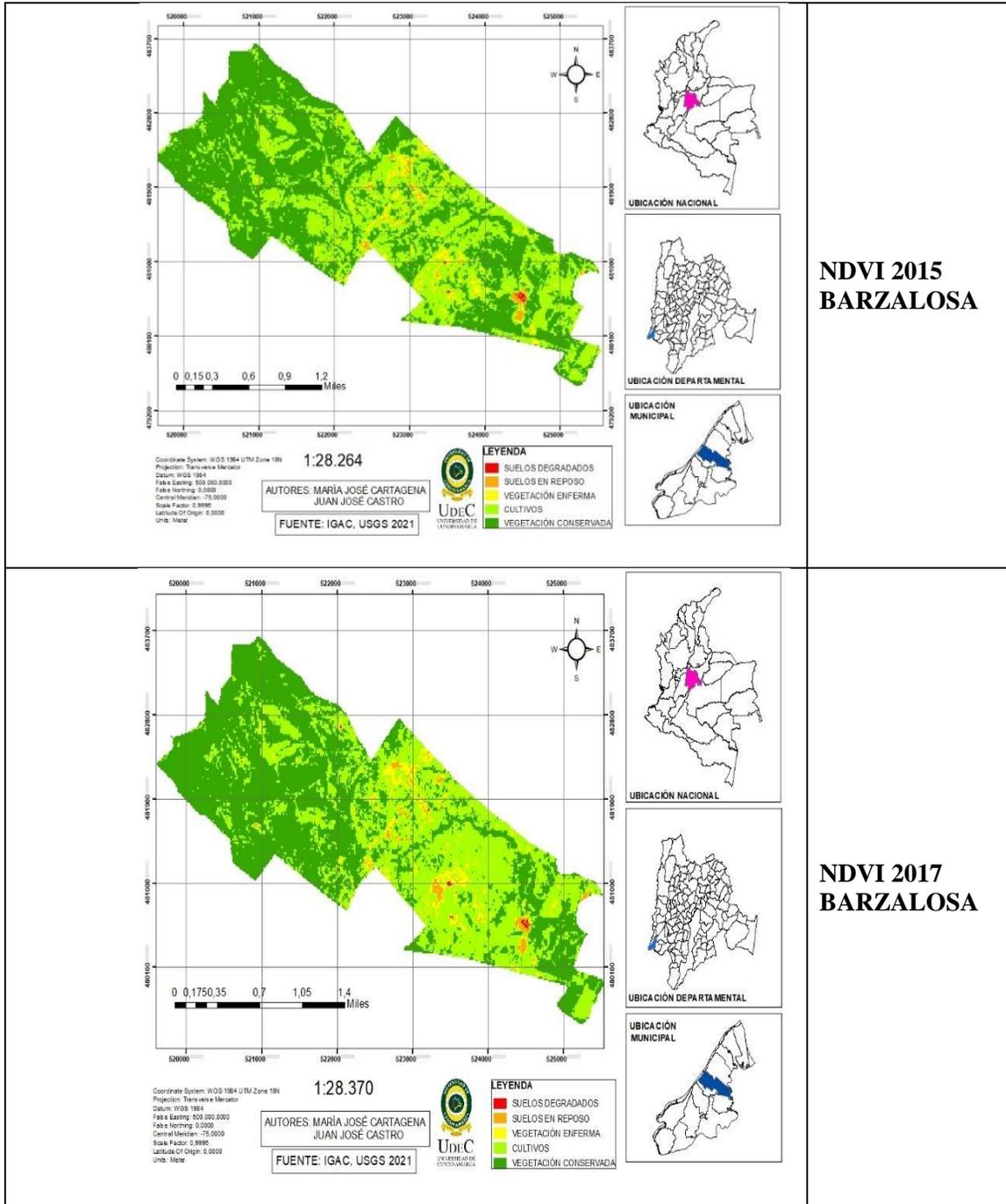
Como se presentan en las figuras en cuanto a la presencia de suelos degradados a los cuales se les dio el rango de los valores menores a 0 durante el cálculo de NDVI, se nota claramente una reducción de la presencia de este tipo de suelos desde el año 2015 que fue de 0,12944856% hasta el presente año que fue de 0,02190666%. Sin embargo, debe considerarse que el NDVI toma como fundamento la reflectancia de las coberturas vegetales existentes, incluidos los cultivos. Considerando que la forma de producción de la región es agrícola intensiva por medio de la rotación de cultivos, las imágenes satelitales que se tomaron en diferentes épocas presentaban constantemente áreas que se encontraban ya siendo cultivadas, aspecto que condicionó el NDVI y por lo tanto, no permitió identificar los sitios donde el suelo presentó degradación. Cabe recordar que en la interpretación del NDVI los suelos degradados están asociados a áreas sin vegetación con presencia de zonas rocosas. No obstante, esto confirma que el uso de suelo de la zona sí es definida como zona de producción agrícola intensiva según lo establece el PBOT y mantiene en continuo uso por la implementación de rotación de cultivos como lo indican los habitantes de la Vereda Sucre.

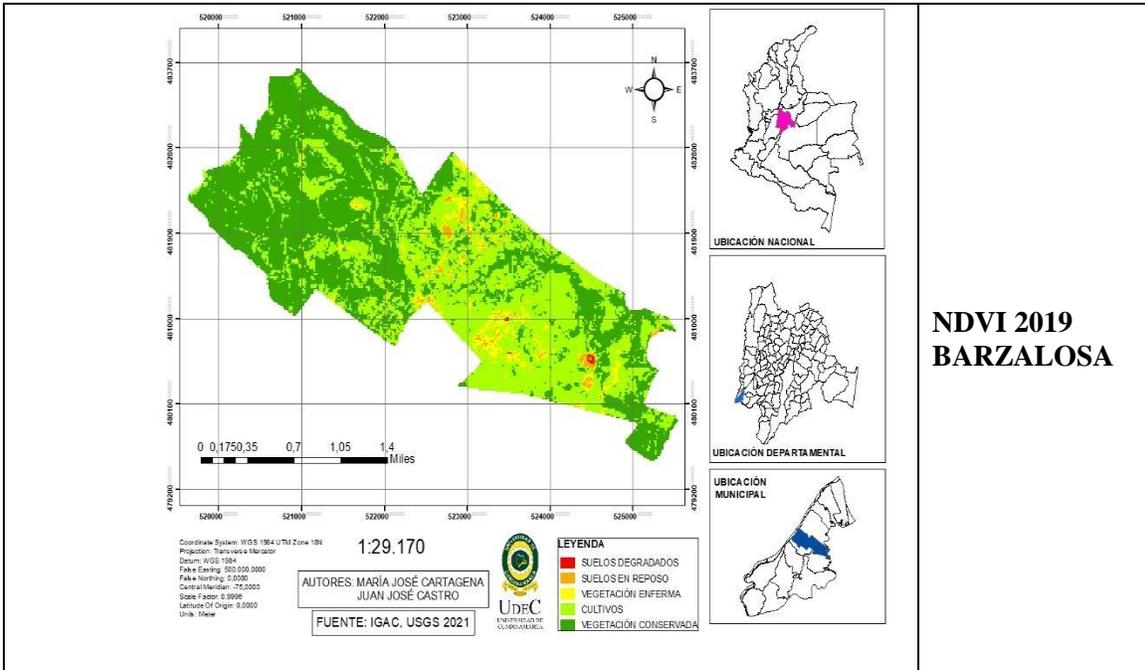
Para los suelos en reposo a los cuales se les da rangos de 0 a 0,1 durante el cálculo de NDVI, se presentó un aumento del 4% en el 2015 al 19% en el año 2019 y para el presente año hubo una reducción al 8% según lo evidenciado en las figuras, esto es debido a que durante ese periodo de tiempo (2015-2019) indican los habitantes de la Vereda Sucre se fue disminuyendo la producción agrícola intensiva en la zona, con el fin de promover la implementación de monocultivos frutales como el mango, por eso se nota un aumento de la presencia de suelos en reposo en la región, pero esto fue disminuyendo como se evidencia durante el presente año debido a que nuevamente se ha decidido volver a las prácticas agrícolas comunes que siempre se han desarrollado tanto en esta vereda como en gran parte del municipio, porque no hay que olvidar que, en sus amplios terrenos siempre se han introducido cultivos como arroz, maíz, ajonjolí, sorgo, algodón, entre otros; y esto a su vez genera que en algunas zonas haya ausencia de vegetación nativa.

Por otro lado el análisis frente a la conservación del ecosistema bosque seco tropical durante los años 2015, 2017, 2019 y 2021, se evidencia en las gráficas de vegetación conservada, en las cuales presentan una disminución del 77% en el año 2015 al 21% en el presente año (2021), asociado a un aumento de los porcentajes de vegetación medianamente conservada (cultivos) desde 15% en el 2015 al 51% en el presente año (2021). El incremento en la presencia de cobertura herbácea (0,2 - 0,5) está relacionado por las áreas cultivadas debido al uso principal definido del suelo en la zona que es Zona de Producción Agrícola Intensiva con Riego. Por eso no puede considerarse que este tipo

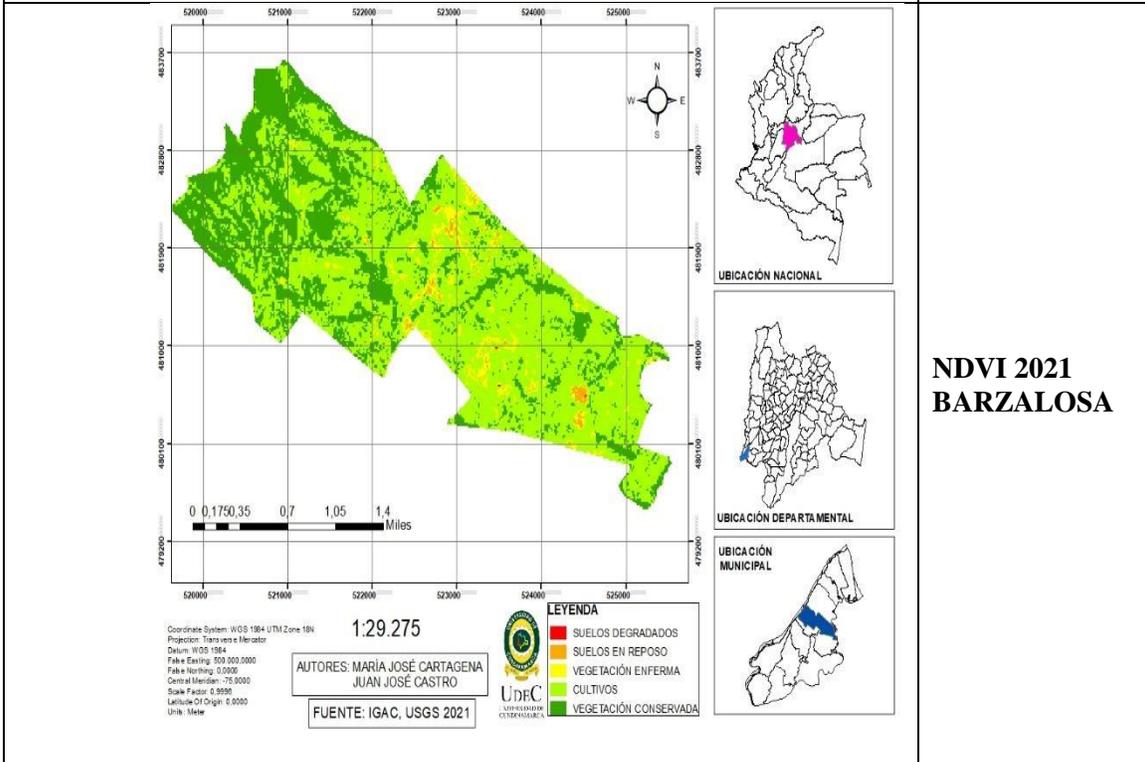
de cobertura vegetal esté conformada en su totalidad por especies herbáceas nativas. Adicionalmente, la Vegetación densa (>5) presenta una disminución, es decir, reducción de los bosques vírgenes en el sitios durante este periodo de tiempo asociado posiblemente al incremento de la deforestación para conversión de terrenos agrícolas y así mismo, para el establecimiento y construcción de vías y edificaciones por expansión urbana. En Colombia, el bosque seco tropical es el ecosistema que presenta la mayor transformación debido a que cerca del 90% de sus coberturas originales fueron reemplazadas principalmente por pastos y campos agrícolas, expansión urbana durante el último siglo. Puesto que, originalmente, este ecosistema cubría más de 9 millones de hectáreas (Fundación Natura Colombia, 2020). Solo se conservan algunas áreas que son las consideradas como Zonas de Protección Ambiental por el tema de conservación del Bosque Seco Tropical, pero en el cual no se ve el cumplimiento en cuanto a la conservación de estas áreas.

Tabla 6. Mapas de NDVI Vereda Barzalosa – Girardot, Cundinamarca





**NDVI 2019
 BARZALOSA**



**NDVI 2021
 BARZALOSA**

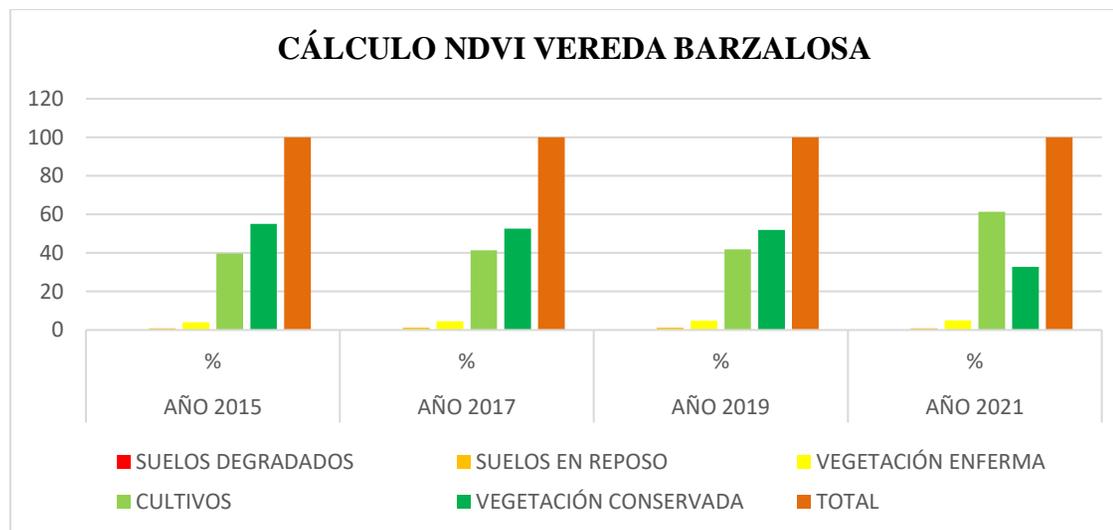
Fuente: Autores, datos obtenidos en Arcgis.

Tabla 7. Resultados cálculo NDVI Vereda Barzalosa del año 2015, 2017, 2019 y 2021

NDVI	AÑO 2015	AÑO 2017	AÑO 2019	AÑO 2021
	%	%	%	%
SUELOS DEGRADADOS	0,104821803	0,20962352	0,209643606	0,104821803
SUELOS EN REPOSO	0,943396226	1,228756057	1,257861635	0,838574423
VEGETACIÓN ENFERMA	4,088050314	4,520060185	4,821802935	5,031446541
CULTIVOS	39,72746331	41,35189537	41,82389937	61,32075472
VEGETACIÓN CONSERVADA	55,13626834	52,68966487	51,88679245	32,70440252
TOTAL	100	100	100	100

Fuente: Autores, datos obtenidos en Arcgis.

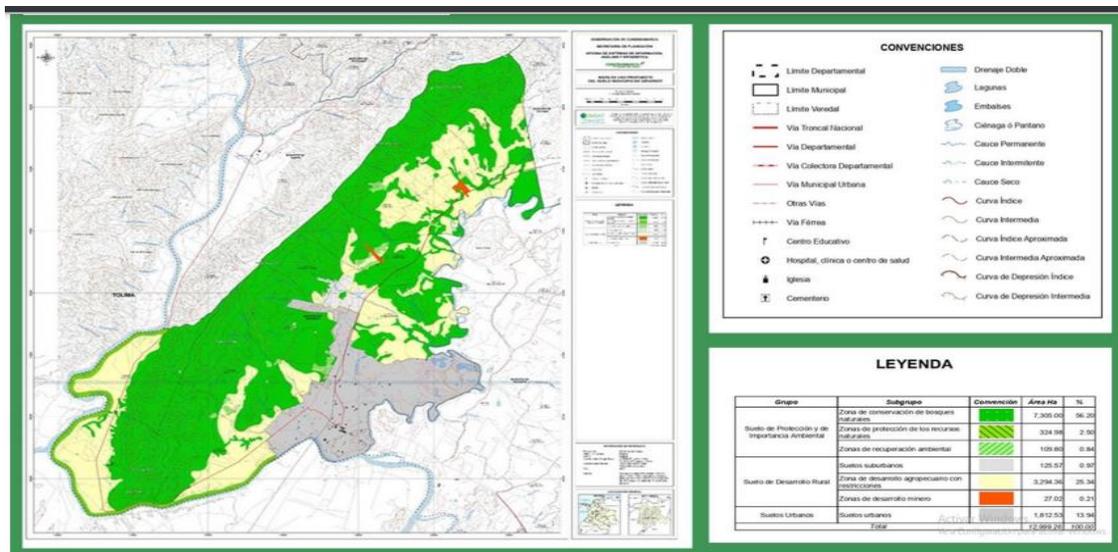
Figura 11. Gráfica porcentajes cálculo de NDVI Vereda Barzalosa.



Fuente: Autores, datos obtenidos en Arcgis.

Para la vereda Barzalosa ubicada en el Municipio de Girardot, Cundinamarca según el acuerdo 029 del año 2000 “**Por medio del cual se adopta el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) y se dictan otras disposiciones**”, se define en el plano de uso de suelo expedido en el 2001 que el uso de suelo principal es Suelo de Desarrollo Rural especificando dentro de este las Zonas de Desarrollo Agropecuario con Restricción y como uso de suelo secundario Suelo de Protección y de Importancia Ambiental con el fin de promover la conservación del ecosistema de Bosque Seco Tropical (BST) con declaración de Zonas de Conservación de Bosques Naturales (*Figura 14*). Para esta vereda, de igual manera se realizó el análisis multitemporal durante los años 2015, 2017, 2019 y 2021, con el fin de identificar el cambio teniendo en cuenta el uso de suelo establecido para la zona de estudio.

Figura 12. Plano Uso del Suelo 2001. Girardot, Cundinamarca.



Fuente: Gobernación de Cundinamarca, 2000.

Como se presentan en las gráficas y tablas en cuanto a la presencia de suelos degradados a los cuales se les dio el rango de los valores menores a 0 durante el cálculo de NDVI, se nota claramente un aumento no considerado relevante entre los años 2015 de 0,1048218% a 2019 de 0,20964361%, ya en el presente año (2021) vuelve a haber una disminución a un 0,1048218% en cuanto a la presencia de suelos degradados en la zona. De igual manera, para los suelos en reposo a los cuales se les da rangos de 0 a 0,1 durante el cálculo de NDVI, no se registra un aumento o disminución en los porcentajes según lo evidenciado en las tablas y gráficas, esto es debido a que frente a los cambios de uso del suelo según los habitantes de esta vereda se ha generado una reducción en la producción agrícola y de la práctica de actividades agropecuarias dado por el aumento de temperatura que consideran ellos es uno de los factores que más ha influido y el aumento de compra y construcción de casas campestres en la zonas donde anteriormente se cosechaba o se desarrollaban estas actividades; por lo tanto, por eso no se puede evidenciar en estos últimos años la presencia notoria de un aumento o disminución de suelos degradados y de suelos en reposo durante el análisis multitemporal de la zona.

Por otro lado el análisis frente a la Conservación del ecosistema Bosque seco Tropical durante los años 2015, 2017, 2019 y 2021, se evidencia en las gráficas de vegetación medianamente conservada (cultivos) un aumento de los porcentajes del 41% en el 2015 al 61% en el presente año (2021) y en las de vegetación conservada presentan una disminución del 55% en el año 2015 al 33% en el presente año (2021), esto se debe a que la presencia de cobertura herbáceas (0,2 - 0,5) evidencia mayor incremento por la

presencia de cobertura herbácea y cultivos en la zona dado que en el uso de suelo estipulado es Zonas de Desarrollo Agropecuario con Restricción y Suelo de Protección y de Importancia Ambiental. En cuanto a la disminución de la vegetación conservada (>5) se puede evidenciar que se genera debido a la presencia de cultivos y esto va acabando con la presencia y conservación especies nativas de ecosistema Bosque Seco Tropical (BST), pero es difícil de comprobar, debido a que el índice determina la capacidad de reflectancia de planta pero no logra determinar el tipo de vegetación perteneciente al área de estudio.

Se debe tener en cuenta de igual manera, que a pesar de que la actividad económica primordial es el turismo y el comercio, se reconoce el incremento de la vivienda y población en tierras aptas para el cultivo, la deforestación y una baja calidad ambiental como escenarios que entorpecen el desarrollo municipal; en esto, se promueven proyectos de producción intensiva, conservación de forrajes, uso eficiente de los recursos y, gestión sostenible del agua (Concejo Municipal de Girardot, 2020). En la actualidad en el municipio de Girardot, como se consideró anteriormente solo se utiliza el 35% de las tierras aptas para ser cultivadas, lo que demuestra el declive que vive, aunque han sido propicias para la agricultura debido a las condiciones favorables de sus suelos, en el municipio de Girardot – Cundinamarca, se observaba el desaprovechamiento de los recursos productivos y de las zonas rurales del Municipio, que aporta al fortalecimiento para ser competentes y lograr un mejor desarrollo económico (UMATA, 2019).

Análisis fisicoquímico para evaluar el estado del recurso suelo en la fincas La Franconia (Vereda Sucre – Espinal, Tolima) y La Palmira (Vereda Barzalosa – Girardot, Cundinamarca)

Caracterización fisicoquímica

Dentro de las siguientes figuras y tablas se encontrarán los resultados obtenidos de la caracterización fisicoquímica de las muestras de suelo de la Finca la Franconia (Vereda Sucre) y la Finca La Palmira (Vereda Barzalosa) realizada en los laboratorios del Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla (IRNAS) en España.

La determinación por ICP-masas se consigue sometiendo el flujo de un gas a presión atmosférica a la acción de un campo magnético inducido por una corriente de alta frecuencia. Los valores generados por este método se enfocan a la presencia de metales pesados en las muestras de suelo; por medio de estos se puede establecer las condiciones de los suelos.

Los metales pesados son elementos con densidad superior a 5 g/cm³, Generalmente se encuentran en pequeñas cantidades y pasan a ser tóxicos a partir de un determinado umbral de concentración. Estos metales presentan dos grupos, micronutrientes esenciales para los organismos vivos (plantas, animales y humanos), como Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn, pero pueden producir efectos tóxicos cuando

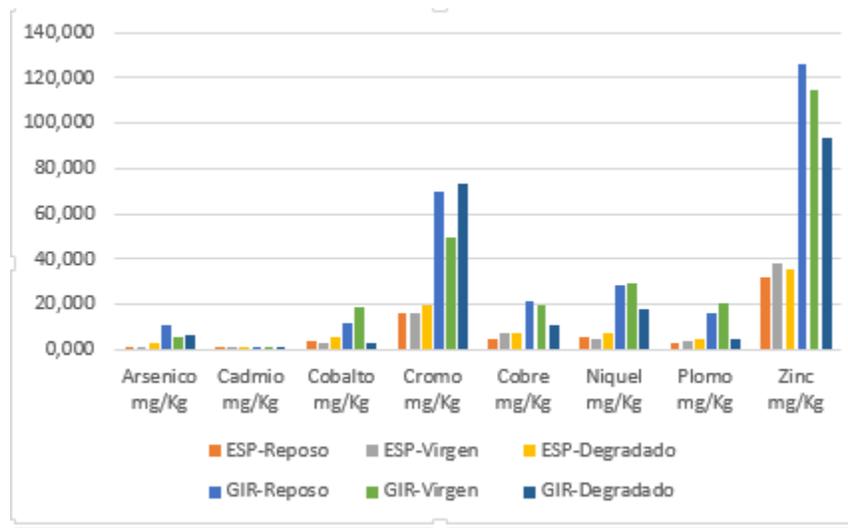
sobrepasan determinados niveles, y el segundo lo componen aquellos que no presentan una función biológica conocida y que después de determinados niveles provocan disfunciones graves en los organismos, incluidos los seres humanos, como es el caso de Cd, Pb, As y Hg (Moolenaar et al., 1997); (Dorrnsoro, 2005).

Tabla 8. Metales encontrados en las muestra de suelo Girardot/Espinal

Muestra\Metal	Arsenico mg/Kg	Cadmio mg/Kg	Cobalto mg/Kg	Cromo mg/Kg	Cobre mg/Kg	Niquel mg/Kg	Plomo mg/Kg	Zinc mg/Kg
ESP-Reposo	0,418	0,166	3,922	15,923	4,798	5,400	3,190	31,669
ESP-Virgen	0,521	0,158	2,970	16,320	6,906	4,834	3,747	38,065
ESP-Degradado	2,510	0,097	5,850	19,356	6,995	7,598	4,637	35,538
GIR-Reposo	10,408	0,379	11,337	69,427	21,399	28,093	16,344	125,851
GIR-Virgen	5,773	0,497	18,549	49,556	19,845	29,276	20,112	114,171
GIR-Degradado	6,533	0,574	2,952	73,109	10,586	18,092	4,768	93,336

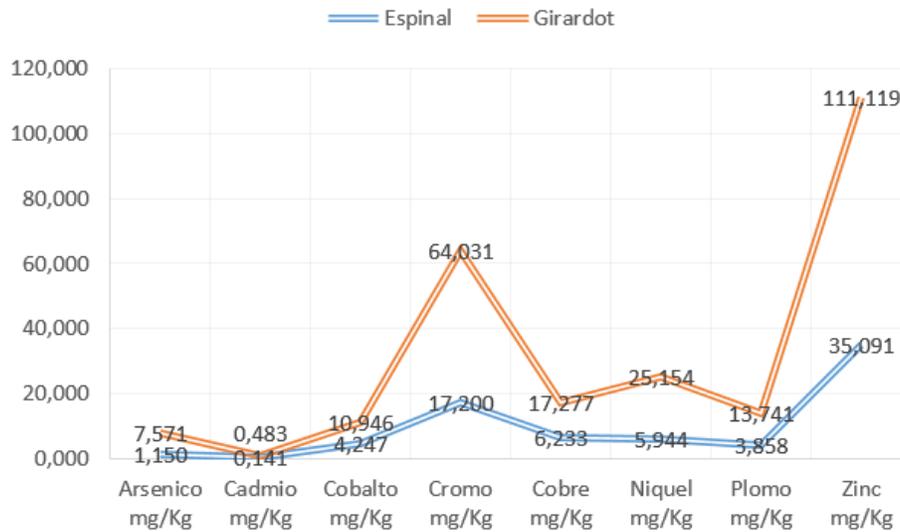
Fuente: Autores, datos obtenidos Proyecto ICOOP.

Figura 13. Concentraciones metales pesados en suelos de Girardot y Espinal



Fuente: Autores, datos obtenidos Proyecto ICOOP.

Figura 14. Concentraciones de metales pesados en promedio en suelos de Girardot y Espinal



Fuente: Autores, datos obtenidos Proyecto ICOOP.

Como se puede apreciar en la figura 14 en promedio las concentraciones de metales pesados son más alta en las muestras de Girardot que en el Espinal, de la misma forma los demás elementos tienden a tener concentraciones casi siempre mayores en los suelos muestreados de Girardot como lo muestra la tabla 8.

Tabla 9. Demás elementos encontrados en la muestra de suelo Girardot/Espinal

Muestra\Elemento químico	Bario mg/Kg	Calcio mg/Kg	Hierro mg/Kg	Potasio mg/Kg	Magnesio mg/Kg	Manganeso mg/Kg	Sodio mg/Kg	Azufre mg/Kg	Estroncio mg/Kg	Vanadio mg/Kg
ESP-Reposo	125,549	3279,049	9167,841	1002,698	2801,760	174,062	449,661	131,325	15,526	26,852
ESP-Virgen	232,685	4835,756	9747,818	1237,758	3014,887	219,996	398,105	175,729	33,939	24,500
ESP-Degradado	229,854	3158,393	12688,820	1613,835	3739,988	260,430	407,926	94,822	17,884	34,065
GIR-Reposo	230,943	38949,137	37744,566	11164,442	8747,414	417,875	829,075	258,064	172,932	156,087
GIR-Virgen	207,858	4807,147	47406,969	7976,369	7328,878	723,747	510,391	271,923	91,030	107,742
GIR-Degradado	136,418	110543,313	18591,998	4447,397	3604,941	169,366	204,285	478,378	210,874	87,888

Fuente: Autores, datos obtenidos Proyecto ICOOP.

Se evaluaron los metales y sus límites máximos permisibles según entidades internacionales, en general, analizando las concentraciones normales y de toxicidad del suelo para el cultivo, y debido a que los metales pesados suponen no solo un problema para el cultivo agrícola sino también para la salud humana por su capacidad de bioacumulación y biomagnificación. Se estableció una relación con sus máximos permisibles y las concentraciones encontradas.

Tabla 10. Valores de referencia en diferentes regiones de Europa.

Cuadro 3. Valores de referencia de metales pesados en diferentes regiones (mg/kg).

Ciudad	Pb	Cd	Cu	Zn	Cr	Ni	Referencia
Holanda	85	0.80	36	140	100	35	Lista Holandesa de Valores, 1994 (25% arcilla, 10% materia orgánica) citado por (Brus <i>et al.</i> , 2009)
Málaga - España	69	0.50	65	132	132	58	(Castillo Carrión <i>et al.</i> , 2002)
Granada - España	36	-	26	76	66	20	(Diez <i>et al.</i> , 2009)
Brasil	17	0.5	35.1	59.9	40.2	13.2	(Fadigas <i>et al.</i> , 2006)
Almería - España			25	394			(Gil <i>et al.</i> , 2002)
Alicante - España	28	0.7	28	83	36	31	(Micó <i>et al.</i> , 2007)
Comunidad de Madrid - España	88	0.84	34	109	-	-	(Pérez <i>et al.</i> , 2000)
Medina del Campo Valladolid - España	13.78	0.44	9.41	33.44	16.14	9.81	(Sánchez, 2003)
Tirana - Albania	85.5	0.7	36.3	151	113.7	41.9	(Gjoka <i>et al.</i> , 2010)
China	37.5	0.43	31.7	117.7	58.9	27.5	(Wei y Yang, 2010)
South Hyderabad - India	20	-	35	71	35	20	(Dantu, 2009)
Promedios mundiales en suelos	10 - 84	0.06 - 1.1	6 - 80	17 - 125	7 - 221	4 - 55	(McBride, 1994)

Fuente: Metodologías para establecer valores de referencia de metales pesados en suelos agrícolas: perspectivas para Colombia, 2019.

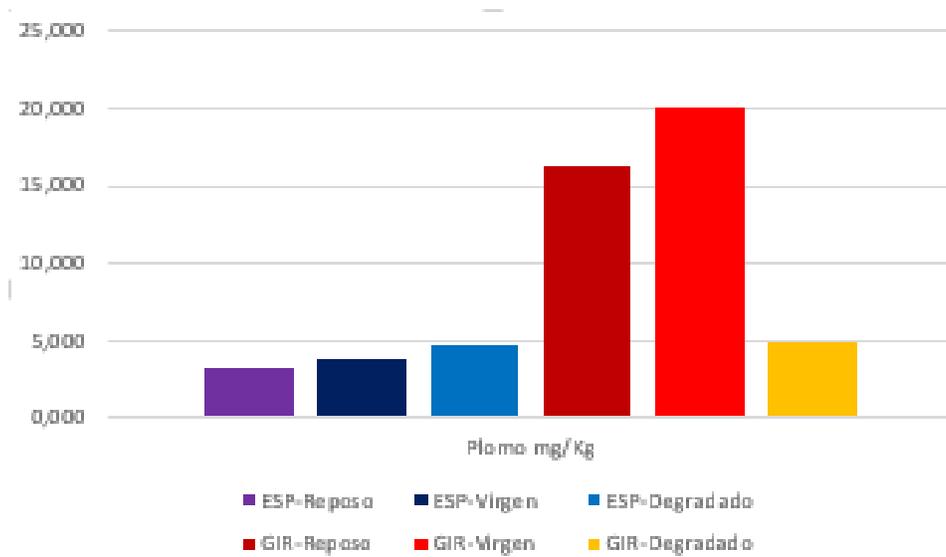
Tabla 11. Valores de referencia en Colombia.

pH		6 a 8	6 a 8
Parámetros inorgánicos			
Arsénico (inorgánico)	mg/kg	15	15
Azufre (elemental)	mg/kg	-	-
Bario	mg/kg	500	2000
Boro (soluble en agua caliente)	mg/kg	-	-
Cadmio	mg/kg	5	10
Cobalto	mg/kg	50	300
Cobre	mg/kg	63	63
Cromo Total	mg/kg	65	90
Cromo VI	mg/kg	0.4	1.4
Cianuro (libre)	mg/kg	0.9	8.0
Estaño	mg/kg	50	300
Flúor (total)	mg/kg	400	2000
Mercurio	mg/kg	2	10
Molibdeno	mg/kg	10	40
Níquel	mg/kg	100	100
Plomo	mg/kg	100	150
Selenio	mg/kg	3	10
Talio	mg/kg	1	1
Vanadio	mg/kg	130	130
Zinc	mg/kg	200	380

Fuente: Norma Técnica de Suelo Colombiana.

Las normas adoptadas para los límites permisibles a nivel mundial cuentan con características propias de los suelos en sus regiones y el análisis de los resultados acá obtenidos, no se rige estrictamente a lo que allí mencionan. Los valores pueden variar y en algunos casos pueden ajustarse los valores de referencia con las demás normas internacionales o estudios realizados a nivel regional.

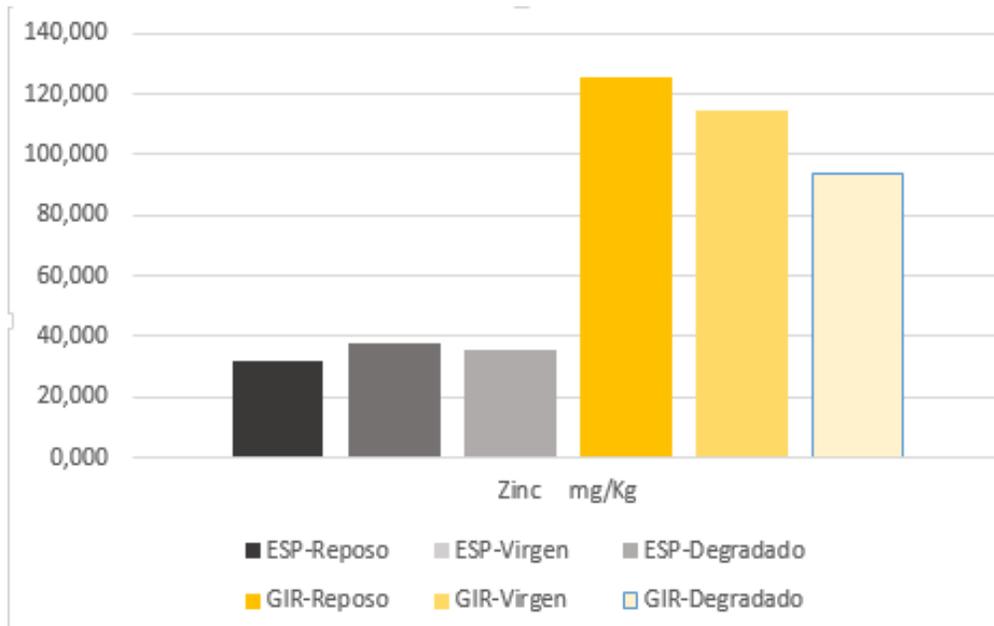
Figura 15. Concentraciones de Plomo en suelos de Girardot y Espinal



Fuente: Autores, datos obtenidos Proyecto ICOOP.

El Pb ha sido directamente relacionado con la aplicación de agroquímicos y fertilizantes como Urea y Superfosfato. Según la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos - EPA (1996), el contenido normal de Pb en suelo es de 10 mg/kg, valor superado en las muestras Girardot reposo y Girardot virgen como lo muestra la figura 15, Sin embargo, el rango de toxicidad propuesto por esta agencia se encuentra entre los 50 a 100 mg/kg. Por su lado Kabata-Pendias y Pendias (2001), mencionan que para denominar a un suelo contaminado por Pb este debe superar los 100 mg/Kg.

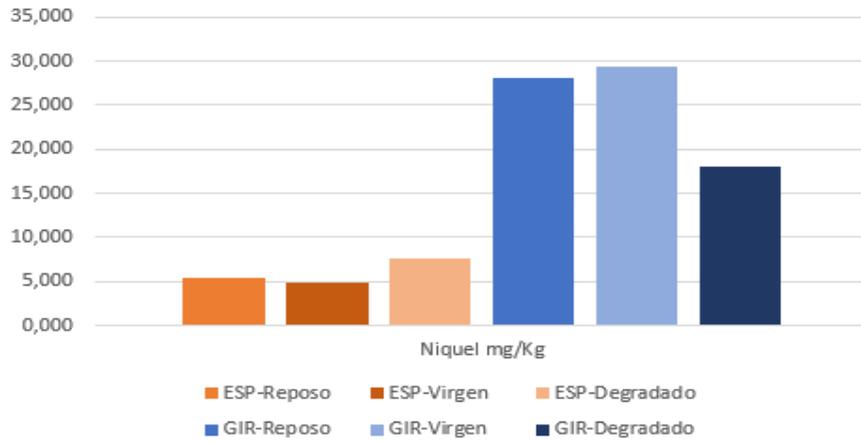
Figura 16. Concentraciones de Zinc en suelos de Girardot y Espinal



Fuente: Autores, datos obtenidos Proyecto ICOOP.

Los suelos agrícolas muestreados presentaron unos valores entre 31 y 126 mg/kg de Zinc, de acuerdo con Kabata–Pendias (2004), las concentraciones de Zn en suelos varían entre 10 y 100 mg/Kg, y éste hace parte de los elementos esenciales para las plantas. Sin embargo, en concentraciones superiores a 400 mg/Kg puede generar problemas de toxicidad (EPA, 1996), es decir que las concentraciones encontradas en los sitios de muestreo no presentan irregularidades por estas concentraciones.

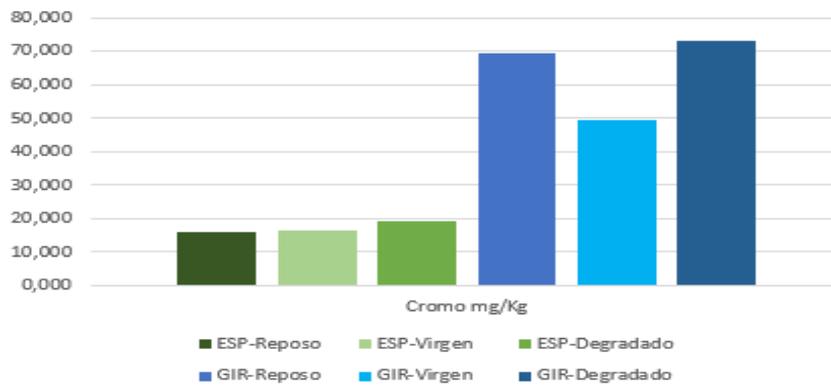
Figura 17. Concentraciones de Níquel en suelos de Girardot y Espinal



Fuente: Autores, datos obtenidos Proyecto ICOOP.

El níquel puede cumplir funciones bioquímicas en los seres vivos y el rango normal en suelos está entre 0,1 a 5 mg/Kg, sin embargo, cuando se encuentra en niveles de 10 a 100 mg/Kg, puede presentar problemas de toxicidad (EPA, 1996). Los valores de 18 a 29 mg/Kg presentados en la figura 17 demuestran que Girardot está por encima del límite y pueden presentar problemas de toxicidad en el suelo.

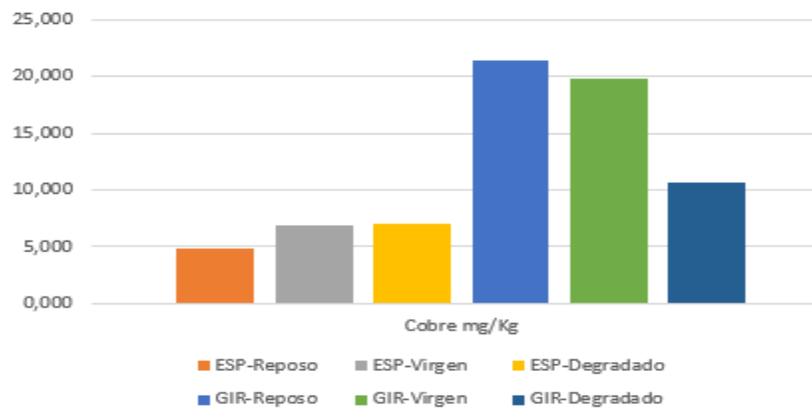
Figura 18. Concentraciones de Cromo en suelos de Girardot y Espinal



Fuente: Autores, datos obtenidos Proyecto ICOOP.

El valor de este metal para las muestras de Girardot tuvo un promedio de 64,031 mg/Kg y para Espinal de 17,200 mg/Kg que pueden ser tóxicos respectivamente, pues según la EPA (1996) el rango normal de contenido de Cr en el suelo es de 0,1 – 0,5 mg/Kg y el rango tóxico está entre 5 y 30 mg/Kg, esto supone un riesgo por su potencial para disminuir la producción de cultivos, y debido al riesgo de bioacumulación y biomagnificación en la cadena alimentaria.

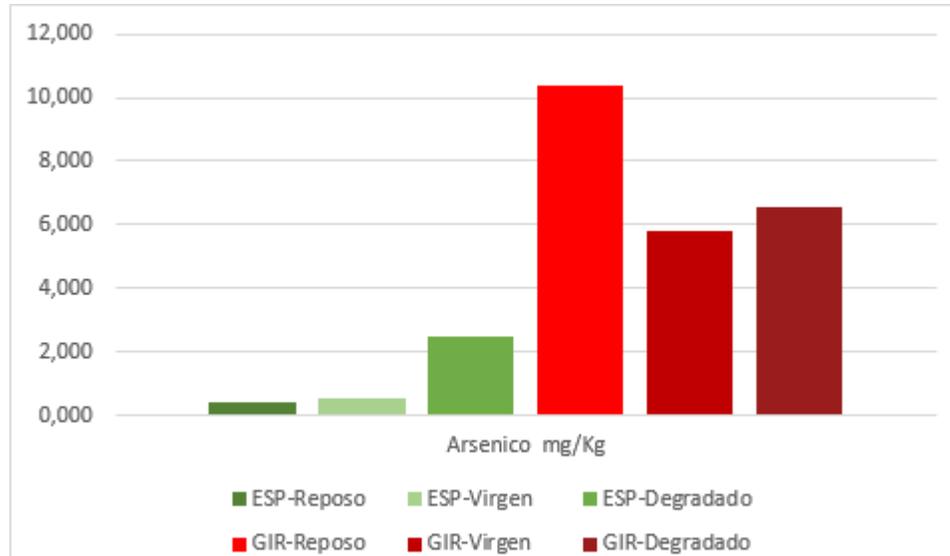
Figura 19. Concentraciones de Cobre en suelos de Girardot y Espinal



Fuente: Autores, datos obtenidos Proyecto ICOOP.

Las concentraciones de cobre en las muestras de suelo están acordes a lo que la EPA (1996) plantea, exponiendo como rango normal de Cu en el suelo de 5 a 30 mg/Kg. La movilidad en el suelo es relativamente baja y está influenciada por los contenidos de materia orgánica y el tipo de arcilla.

Figura 20. Concentraciones de arsénico en suelos de Girardot y Espinal



Fuente: Autores, datos obtenidos Proyecto ICOOP.

Según Kabata-Pendias (2000), para el arsénico las concentraciones tolerables en cultivos son de 1 mg/Kg hasta a 1,7 mg/Kg y se vuelve excesiva o tóxica después de 5 mg/Kg, de acuerdo a la figura 20 los suelos evaluados en Girardot no son aptos para procesos agrícolas e incluso su estructura puede llegar a ser tóxica.

Por otro lado, el cadmio y el cobalto no representan una amenaza para el suelo ya que según la EPA su límite permisible es de 1 mg/kg y de 10 mg/kg a 20 mg/kg respectivamente, y como lo muestra la tabla 8, los valores de estos dos son inferiores.

Con relación a los otros elementos, el boro, bario, azufre y vanadio están dentro de los rangos permisibles que muestra las tablas 10 y 11. Finalmente, los demás

elementos encontrados no representan valores significativos y están acorde la normativa utilizada en el estudio de las muestras.

En general en los suelos de Girardot algunas de las concentraciones de los metales pesados analizados, están por encima a los niveles de toxicidad que plantean organismos de referencia mundial como la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos – EPA, con excepción del Zinc que está dentro del rango permitido, además los suelos evaluados en Espinal muestran que sus condiciones se adecuan para usos agrícolas, ya que las concentraciones halladas se encuentran dentro de los rangos normales a excepción del cromo que están dentro del rango toxico de 5 a 30 mg/Kg . Sin embargo, aún en el país no se han establecido valores específicos que puedan ser usados como referencia y a partir de estos evaluar la calidad de los suelos, y de esa forma también generar estrategias enfocadas a la conservación y restauración de estos suelos. Por otro lado, las condiciones de pH favorecerían en ambos casos la siembra y cultivo, pero la cantidad de concentración de metales pesados evidencia una posibilidad de evitar su uso para los suelos evaluados de Girardot.

Tabla 12. pH en las muestras de suelo

Muestra	pH (2g de suelo en 5 mL de CaCl ₂ 0,05M)	pH (5g suelos / 25 mL agua destilada)
SUELO ESPINAL VIRGEN	6,64	7,08
SUELO ESPINAL REPOSO	6,44	7,24
SUELO ESPINAL DEGRADADO	7,04	7,03
SUELO GIRARDOT VIRGEN	6,22	7,4
SUELO GIRARDOT REPOSO	7,01	7,79
SUELO GIRARDOT DEGRADADO	7,04	7,42

Fuente: Autores, datos obtenidos Proyecto ICOOP.

Se realizaron dos mediciones de pH, la primera utilizó una disolución de cloruro de calcio, en este caso se supone que se asemeja a las condiciones reales del suelo La segunda medición con agua destilada, pues es la cantidad de iones hidronio responsables de la acidez o bases como los iones hidroxilo disponibles en el suelo. Dando como resultado que estos suelos tienen niveles de PH adecuado para realizar algunas actividades productivas agrícolas, pues según SALAS (2016), el valor de pH debe variar entre 6.5 y 7.0 para obtener el mejor rendimiento y la mayor productividad, por ser este el rango donde los nutrientes son más fáciles de absorber.

Tabla 13. Método de Walkley-Black para % de materia orgánica, carbono y retención de agua.

MUESTRAS	WHC (%)	%C Orgánico	%MO
SUELO ESPINAL VIRGEN	48,2	1,56	2,70
SUELO ESPINAL REPOSO	29,5	0,47	0,82
SUELO ESPINAL DEGRADADO	46,7	0,54	0,94
SUELO GIRARDOT VIRGEN	67,4	2,27	3,91
SUELO GIRARDOT REPOSO	59,6	1,57	2,71
SUELO GIRARDOT DEGRADADO	65,5	2,52	4,35

Fuente: Autores, datos obtenidos Proyecto ICOOP.

El éxito de cultivos se basa en la capacidad que tiene la tierra de brindar las cantidades necesarias de nutrientes para su correcto desarrollo. La disponibilidad de tales nutrientes depende de varios factores, siendo el contenido y la calidad de la materia orgánica uno de los más importantes.

Los suelos con mayor contenido de carbono orgánico poseen una mayor retención de agua y por lo tanto una mayor capacidad para mantener una densidad más alta de microorganismos, entre los cuales están los que son capaces de degradar urea (Borie B & Fuentealba G, 1982). Como observamos en la tabla 13, hay una relación entre la cantidad de carbono orgánico y el porcentaje de retención de agua; los suelos vírgenes objeto de estudio presentan niveles proporcionalmente alto en comparación a los suelos degradados o en reposo.

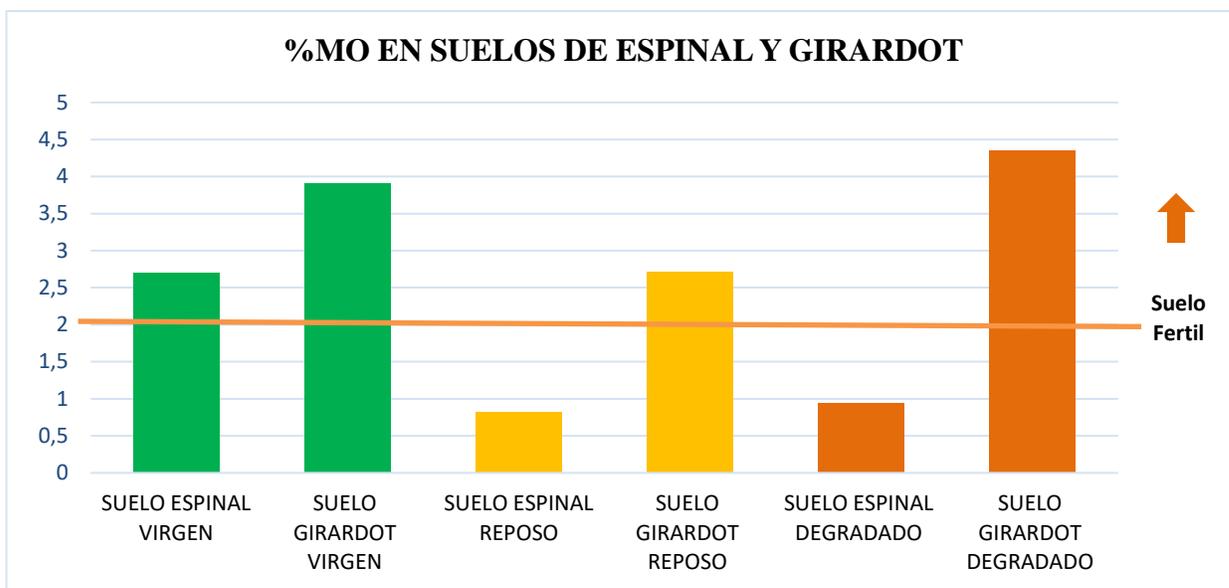
Tabla 14. Categorías para contenido de materia orgánica según tipo de suelo.

Arenoso	Franco	Arcilloso	Clasificación
< 0,7	< 1,0	< 1,2	Muy Bajo
0,7 - 1,2	1,0 - 1,5	1,2 - 1,7	Bajo
1,2 - 1,7	1,5 - 2,0	1,7 - 2,2	Normal
1,7 - 2,2	2,0 - 2,5	2,2 - 3,0	Alto
> 2,2	> 2,5	> 3,0	Muy Alto

Fuente: Interpretación de análisis de suelos y fertilizantes, 2017.

Un terreno fértil debe tener necesariamente un contenido adecuado de demandado orgánico, que va desde el 2% hasta el 6%, si observamos los porcentajes MO de la tabla 13 ,podemos decir que para Girardot la materia orgánica está en un punto de fertilidad, lo contrario para el Espinal a excepción de la muestra de suelo virgen como se aprecia en la tabla 13, por otro lado la falta material orgánico en las muestras del espinal de suelos degradados y suelos en reposo puede atribuirse a la utilización de productos agroquímicos y agricultura intensiva, según la información suministrada por los habitantes de la misma; es un periodo de 25 años aproximadamente de uso intensivo del suelo.

Figura 21. Porcentajes de materia orgánica en muestras de suelos de Girardot y Espinal



Fuente: Autores, datos obtenidos Proyecto ICOOP.

Tabla 15. % de conductividad eléctrica.

MUESTRAS	CÓDIGO	CE ($\mu\text{s}/\text{cm}$) (5 g suelos/25 mL agua destilada)
SUELO ESPINAL VIRGEN	S.Esp.V	65,9
SUELO ESPINAL REPOSO	S.Esp.R	71,7
SUELO ESPINAL DEGRADADO	S.Esp.D	79,3
SUELO GIRARDOT VIRGEN	S.Gir.V	101,3
SUELO GIRARDOT REPOSO	S.Gir.R	139,2
SUELO GIRARDOT DEGRADADO	S.Gir.D	124,6

Fuente: Autores, datos obtenidos Proyecto ICOOP.

Cada cultivo es capaz de sobrevivir en rangos algo diferentes de conductividad, dependiendo del tipo de sales que tiene el suelo, sin embargo se pudieron establecer las siguientes líneas generales:

- < 500 micromhos/cm, buen desarrollo.
- 500-1000 micromhos/cm, aparecen problemas en algunos cultivos.
- 1000 micromhos/cm, dificultades en muchos cultivos (Valero, 1993).

La solución del suelo siempre contiene siempre sales solubles en mayor o menor proporción, pero si la cantidad de estos aumenta y alcanza un límite, la vegetación no puede subsistir de manera adecuada. Los principales cationes que dan origen a la salinidad son: sodio, calcio, magnesio y potasio; y los aniones sulfatos, cloruros y carbonatos.

Algunos autores han reportado que los residuos de la industria agrícola, contienen una cantidad variable de minerales, como los metales y metaloides As, Cd, Pb, Cu, Zn, etc., cuya dispersión representa un peligro ambiental para los suelos del entorno, su presencia puede derivar en altos valores de conductividad eléctrica en los suelos (Campbell, D., Fitterman D., 2000); (Romero et al, 2007) implicando que los suelos afectados por la presencia de metales pesados pueden acidificarse y aumentar su capacidad de conductividad eléctrica, como observamos en la tabla 15 hay una relación entre la conductividad y los altos de niveles de metales como arsénico, plomo y zinc; los

niveles de estos metales en algunos casos, se acerca o sobrepasa los límites permisibles; lo que puede derivar en un aumento de la conductividad del suelo, en especial las muestras de suelo de Girardot.

Los datos presentados en la tabla 16 recogen las diferencias de los contenidos constituyentes nitrogenados, fosforo y potasio.

Tabla 16. Valores y porcentaje de N, K Y P de los suelos.

MUESTRAS	N Kjeldahl (%)	N- Nitrato (mg/kg)	N amonio (mg/kg)	P-Olsen (mg/kg)	K disponible (mg/kg)
SUELO ESPINAL VIRGEN	0.044	10.0	<0.2	11.2	67.0
SUELO ESPINAL REPOSO	0.105	17.0	0.80	4.9	79.0
SUELO ESPINAL DEGRADADO	0.034	11.4	<0.2	12.5	60.0
SUELO GIRARDOT VIRGEN	0.153	14.2	0.40	2.1	207,00
SUELO GIRARDOT REPOSO	0.202	13.3	2.60	<1	211,00
SUELO GIRARDOT DEGRADADO	0.237	11.8	0.50	5.6	129,00

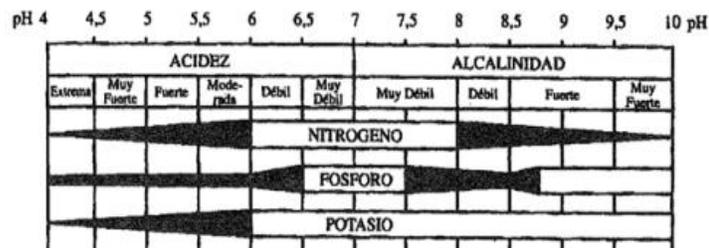
Fuente: Autores, datos obtenidos Proyecto ICOOP.

El N es uno de los elementos más limitantes en la producción biomasa en los cultivos. El uso excesivo de fertilizantes nitrogenados provoca desnitrificación que contribuye a las emisiones terrestres de N₂O, así como lixiviación que contamina acuíferos; se sabe que los dos procesos se favorecen con el incremento de las cantidades de fertilizantes minerales nitrogenados utilizados en la producción (Wagner-Riddle et al., 2007). En el suelo se encuentra en dos formas: orgánica y química. En forma química

aparece en forma de nitratos, nitritos y amoniaco. La mayor parte de las veces el nitrógeno que se analiza en los laboratorios es el nitrógeno orgánico junto al amoniacal, considerándose que los nitratos y los nitritos representan una pequeña fracción (Valero, 1993). Debido a que la mayoría del N del suelo es orgánico, existe siempre una estrecha asociación entre los contenidos de materia orgánica del suelo (MOS) y de N total del suelo (Perdomo, 2000), tal y como sugieren los valores registrados en las tablas 13 y 16 para %MO y % de Nitrógeno total.

Si observamos los rangos de pH que nos brindan los resultados de la tabla 12 y los comparamos con la disponibilidad de los elementos en el suelo de la figura 14, encontramos un desequilibrio con la disponibilidad de los elementos dentro del rango de pH; los terrenos de muestra están por encima de 7 (alcalinos muy débiles).

Figura 22. Categoría para disponibilidad de fosforo en el suelo.



Fuente: Interpretación de análisis de suelos y fertilizantes, 2017.

El potasio se encuentra en el suelo en forma de catión intercambiable, es decir, adsorbido a las arcillas y a la materia orgánica en sus sedes de intercambio, pasando fácilmente a la solución del suelo por la acción de ácidos débiles (Valero, 1993).

Tabla 17. Rangos de concentración de potasio.

	Clasificación		
	Bajo	Normal	Alto
Secano			
Arenoso	< 95	96 - 135	> 136
Franco	< 125	126 - 195	> 196
Arcilloso	< 155	156 - 255	> 256
Regadío			
Arenoso	< 135	136 - 215	> 216
Franco	< 155	156 - 295	> 296
Arcilloso	< 175	176 - 330	> 331

Fuente: Fuente: Interpretación de análisis de suelos y fertilizantes, 2017.

Según Andrades y Martinez, (2014), controlar determinados niveles de potasio en el suelo es decisivo para que este pueda desempeñar sus distintas funciones en las plantas, se pueden señalar:

- Favorece formación de hidratos de C.
- Aumenta la resistencia de las plantas a sequias y heladas.
- Mejor desempeño en calidad de productos agrícolas.

Como observamos en la tabla 16 las cantidades de potasio en las muestras de suelo del espinal es ampliamente superado por los niveles encontrados en las muestras de

Girardot, marcando diferencia en la disponibilidad de este macronutriente tan importante en la producción de biomasa.

Respecto a las cantidades de fosforo como lo mencionan Romero et al (2007), mantener las cantidades óptimas de fosforo; además de favorecerse cuando hay una cantidad considerable de materia organica, los fósforos fundamentales para el desarrollo de las plantas, por intervenir en funciones fundamentales como:

- Desarrollo de raíces.
- Estimula el crecimiento y el desarrollo.
- Favorece la floración y fructificación.
- Maduración de los frutos.

Tabla 18. Niveles de fosforo según el tipo de suelo por método de Olsen (mg/kg).

	Clasificación		
	Bajo	Normal	Alto
Secano			
Arenoso	< 8	9 - 12	> 13
Franco	< 12	13 - 18	> 19
Arcilloso	< 15	16 - 24	> 25
Regadío			
Arenoso	< 12	13 - 18	> 19
Franco	< 15	16 - 25	> 26
Arcilloso	< 20	21 - 30	> 31

Fuente: Fertilidad del suelo y parámetros que la definen.

Según los valores de fosforo mencionados en la tabla 16, observamos que los suelos de girardot tienen casi el doble de los valores de fosforo de los suelos del espinal, sin embargo se evidenci una particularidad con los suelos de muestra en reposo, son porporcionalmente bajos para los dos tipos de terrenos, posiblemente por los diferentes manejos o usos del suelo en las dos regiones; se puede atribuir a la practicas de preparacion y acondicionamineto del terreno en los valores obtenidos en los suelos degradados.

Determinación la producción de biomasa a partir de la aplicación de un abono orgánico y Biochar en suelos de Bosque Seco Tropical.

Análisis de la caracterización del compost con relación al biochar (Comparativo)

Tabla 19. Caracterización del compost con relación al biochar

Nombre	Muestra	% Humedad	Promedio % humedad	%STp bh	Promedio %STp bh	%SV	Promedio %SV	%MO	Promedio % MO	%C	Promedio %C
Compost	1	25,2321	25,2752	74,7679	74,7248	5,3102	5,313	7,1022	7,1101	4,1196	4,1242
	2	25,3183		74,6817		5,3158		7,118		4,1288	
Biochar	1	50,8641	50,1177	49,1359	49,8823	18,6569	18,3643	37,97	36,8231	22,0244	21,3591
	2	49,9569		50,0431		17,9939		35,9569		20,8567	
	3	49,5321		50,4679		18,4422		36,5423		21,1963	

Fuente: Autores, datos obtenidos Proyecto ICOOP.

De acuerdo a la caracterización del compost se pudo observar que frente al biochar este último contiene algunas características especiales, que le confieren contener un mayor porcentaje de humedad frente al compost, esto debido en gran medida a que el

biochar contiene una mayor área superficial, lo que permite retener la humedad mucho más fácil que otros compuestos, Morley (1927) escribió en el primer capítulo de “The National Greenkeeper” que “el carbón vegetal actúa como una esponja en el suelo, absorbiendo y reteniendo el agua, gases y soluciones”. También remarcaba que “como purificador del suelo y absorbente de humedad, el carbón vegetal no tiene igual” (Morley, 1929). Por ejemplo, según la caracterización ilustrada en la tabla 16 se puede evidenciar que el promedio de humedad del compost ronda en un 25% aproximadamente; mientras que el biochar duplica esta cifra al sobrepasar el 50%. Así mismo el biochar presenta una gran ventaja frente al compost referente a la Materia Orgánica y Carbón Orgánico contenido, lo anterior se podría inferir a la propiedad antes mencionada del biochar, aunque también cabe destacar que al provenir de materiales como carbón vegetal, hojas o madera, estos le permiten concentrar altos contenidos de materia y carbón orgánico como se evidencia en la tabla 16, ya que en referencia a la Materia Orgánica la diferencia que tiene a favor el biochar respecto a compost es cercana al 30%; y del Carbón Orgánico el compost con un promedio de 4,124% es superado por el biochar que contiene un 21,3591%.

Por otro lado, observando el comportamiento de los sólidos volátiles y suspendidos obtenidos en las muestras de compost y biochar, se evidencia que el compost contiene en promedio más sólidos suspendidos totales en comparación con el biochar, ya que el primero contiene cerca de 75% de SST, mientras que el último no supera el 50% de los mismos; esto se podría deducir debido a la naturaleza de los dos compuestos ya

que el compost tiene una naturaleza más diversa respecto del biochar. Por último, en relación con el porcentaje de SSV presentes en las muestras de biochar y compost obtenemos, que el biochar contiene más proporción de SSV, ya que estos son la cantidad de sólidos en suspensión remanentes tras el proceso de incineración, razón por la cual el biochar al tener su origen en proceso de combustión o pirolisis logra superar al compost en este aspecto.

Análisis de la producción de biomasa en plantaciones con la planta forrajera de tipo C4 (*Brachiaria decumbens* cv. *Basilisk*)

En los resultados obtenidos durante el seguimiento realizado a las muestras de suelo para la siembra de la planta forrajera de tipo C4 (*Brachiaria decumbens* cv. *Basilisk*), tomadas de la finca la Palmira de la vereda Barzalosa del municipio de Girardot, Cundinamarca, se observó que la cantidad de biomasa generada en los primeros cuatro meses (poda 1) es similar en los ensayos a los cuales se realizó la aplicación de los 2 sustratos empleados. Para el suelo en reposo y suelo degradado con adición de 100 gramos de abono respectivamente (R1E100B0, R2E100B0 y R3E100B0) y (D1E100B0, D2E100B y D3E100B00) se evidencio un aumento en la producción de biomasa, generando 6,7565 gramos y 6,0253 gramos respectivamente, esto dadas las condiciones del material vegetal, es decir, la cantidad de abono o biochar que cada sustrato contenga.

Probablemente este aumento de producción está dado por las condiciones en las que se encuentra el tipo de suelo y las propiedades con las que cuenta el abono que ha sido suministrado. Cabe destacar que los abonos orgánicos pueden prevenir, controlar e influir en la severidad de patógenos del suelo, sirviendo como fertilizantes y mejoradores de este (FAO, 1991) presentando una amplia variación de efectos que dependen del material aplicado y de su grado de descomposición (Abawi y Thurston, 1994). Además, el uso de abonos orgánicos constituye una práctica de manejo fundamental en la rehabilitación de la capacidad productiva de suelos degradados (Anderson y Domsch, 1989).

Por otra parte, al realizar el segundo proceso de poda a los 4 meses siguientes, se obtuvo una variación en los datos, siendo el suelo en reposo con adición de 100 gramos de abono orgánico (R1E100B0, R2E100B0 y R3E100B0) el que generó una mayor producción de biomasa al generar 9,8443 gramos, seguido de suelo en reposo con una adición de 100 gramos de biochar (R1E0B100, R2E0B100 y R3E0B100) con una cantidad de 7,9216 gramos. Esta materia vegetal en reposo con adición de biochar (R1E0B100, R2E0B100 y R3E0B100) demostró un aumento considerable en la segunda poda realizada con relación a lo obtenido en la primera, pues este aumento se da gracias a que el biochar al ser un producto rico en carbono permite la descomposición térmica de la materia orgánica mejorando su productividad. De igual manera favorece el aumento de producción debido a la porosidad que presenta, incrementando así la retención de agua y

de nutrientes, facilitando el flujo de estos, ampliando el hábitat de microorganismos y la capacidad de crecimiento de las raíces (Lenham, 2006; Zhang, 2014).

Sin embargo, el sustrato degradado con adición de 100 gramos de biochar (D1E0B100, D2E0B100 y D3E0B100) produjo la menor cantidad de biomasa 4,4003 gramos, esto es debido a las condiciones de degradación en las que se encuentra el suelo, razón por la cual no permite que haya un aumento en la producción, evitando así que el biochar realice su aporte de nutrientes como fósforo, calcio y potasio para el crecimiento y fortalecimiento de las raíces de la planta de forraje de tipo C4 (*Brachiaria decumbens* cv. *Basilisk*), lo que puede significar inclusive una disminución del pH y una reducción en la cantidad de agua retenida. (Kuzayov et al. 2009; Lenham et al. 2011; Zavalloni et al. 2011).

De igual manera, en la muestra de control sin requerimientos de adición (CB1E0B0, CB2E0B0 y CB3E0B0) se evidencia que el promedio de producción de biomasa se mantiene constante, destacando que esta muestra no cuenta con adición de abono o biochar.

Por otra parte, en los resultados obtenidos a partir del proceso de poda que se realizó a las muestras con dos sustratos diferentes pertenecientes a la finca la Franconia de la vereda Sucre del municipio del Espinal, Tolima, se encontró que dichas muestras lograron una abundante producción de biomasa. Es decir, que el suelo en reposo con una

adición de 100 gramos de abono (R1A100B0, R2A100B0 y R3A100B0) genero 10,7199 gramos de biomasa, seguido de suelo degradado sin presencia de adición (D1A0B0, D2A0B0 y D3A0B0) con un total de 10,3637 gramos, mientras que el suelo en reposo sin requerimiento de adición (R1A0B0, R2A0B0 y R3A0B0) fue el ejemplar que produjo la menor cantidad de biomasa con 5,5451 gramos.

Ahora bien, es importante resaltar que el aumento en la producción de biomasa que se da en la muestra de suelo en reposo con adición de 100 gramos de abono orgánico (R1A100B0, R2A100B0 y R3A100B0) es debido a que los abonos incrementan la actividad y cantidad de biomasa microbiana del suelo (Anderson y Domsch, 1989), dicho esto, se entiende que no se da pérdida de nutrientes, por el contrario para que se produzca una considerable cantidad de biomasa, esta radica en la manera en que se prepara el abono, además de la calidad, la clase de microorganismos que contiene y la forma en que se almacena el mismo (Capulín-Grande et al., 2001).

Tabla 20. Relación de producción de biomasa en las dos zonas de estudio

VEREDA BARZALOSA GIRARDOT, CUNDINAMARCA					VEREDA SUCRE ESPINAL, TOLIMA		
Material	Poda 1	Promedio	Poda 2	Promedio	Material	Poda 1	X
Vegetal	(gr)	X	(gr)	X	Vegetal	(gr)	Promedio
R1E0B100	6,1096	5,8653	7,2626	7,9216	V1A0B0	30,0066	16,9550

R2E0B100	5,8674		9,3911		V2A0B0	14,3551	
R3E0B100	5,6189		7,1111		V3A0B0	6,5032	
CB1E0B0	5,8404		5,1381		R1A0B0	3,1947	
CB2E0B0	5,3873	5,5722	5,8623	5,6745	R2A0B0	9,0587	5,5451
CB3E0B0	5,4886		6,0232		R3A0B0	4,3820	
R1E0B0	5,3892		6,797		R1A100B0	13,1377	
R2E0B0	5,9727	5,7187	6,7429	6,5686	R2A100B0	13,0729	10,7199
R3E0B0	5,7942		6,166		R3A100B0	5,9491	
D1E0B100	5,7144		3,8816		R1A0B100	0,8828	
D2E0B100	6,0193	5,5425	4,9102	4,4003	R2A0B100	12,5727	7,0277
D3E0B100	4,8939		4,409		R3A0B100	7,6277	
D1E0B0	5,2311		5,0741		D1A0B0	15,8221	
D2E0B0	5,2526	5,2035	4,893	5,0393	D2A0B0	2,8027	10,3637
D3E0B0	5,1269		5,1509		D3A0B0	12,4662	
D1E100B0	4,5206		7,4655		D1A100B0	1,0633	
D2E100B0	6,0016	6,0253	8,0136	7,3716	D2A100B0	10,6676	9,4352
D3E100B0	7,5537		6,6357		D3A100B0	16,5748	
R1E100B0	6,2948		9,444		D1A0B100	4,2523	
R2E100B0	6,9545	6,7565	9,3857	9,8443	D2A0B100	12,7530	8,5027
R3E100B0	7,0202		10,7031		D3A0B100	NA	

Fuente: Autores, Datos proyecto ICOOP.

De acuerdo con los resultados evidenciados en la tabla 20, se observa que la producción de biomasa generada en la finca la Palmira de la vereda Barzalosa del municipio de Girardot, Cundinamarca y la finca la Franconia de la vereda Sucre del municipio de Espinal, Tolima, presentan una relación en cuanto a las características que posee cada suelo, es decir, los suelos de las dos fincas se encuentran ubicados en un pH entre 6 y 7, lo que significa teniendo en cuenta lo establecido según Prasad & Power (1997) que están dentro del rango óptimo para lograr un mejor rendimiento y una mayor productividad. De igual manera, están ligados al porcentaje de materia orgánica que contienen, ya que los suelos vírgenes (muestra de control) y los suelos en reposo presentan una mayor proporción de materia orgánica que a diferencia de los suelos degradados su porcentaje es menor, dado a las alteraciones antropogénicas o naturales a las que se ha sometido. Por otra parte, presentan afinidad con la cantidad de carbono que contienen, pues se presenta una mayor concentración en suelos vírgenes y en reposo, mientras que los suelos degradados presentan un porcentaje de carbono en menor proporción.

Conclusiones y recomendaciones

Los mapas temáticos para el NDVI elaborados para el presente trabajo muestran que las coberturas de vegetación enferma, cultivos y vegetación conservada respectivamente abarcan son las que mayor área representan. Es importante reconocer que los cambios en la cobertura de la tierra, están íntimamente ligados con la dinámica de las actividades principales de la zona, para el caso del municipio del Espinal, por ejemplo, son los cultivos de algodón, sorgo, maíz y arroz, y esto afecta los suelos no solo representado las ganancias en hectáreas para los cultivos, sino también un cambio en las propiedades químicas de los mismos.

Los cambios evidenciados en el análisis multitemporal obedecen a diferentes mecanismos, relacionados con factores políticos, económicos, ambientales, demográficos y culturales, como resultado de la interacción de estos se generan cambios en el territorio, los cuales pueden evidenciarse en el área correspondiente a través del cambio en las cinco (5) coberturas objeto del análisis. Sin embargo, son necesarios los estudios complementarios para poder detectar y comprender otros factores, como la presencia de metales pesados, que pudieran incidir en los suelos.

Para el caso de la vereda Sucre, los mayores cambios en la cobertura para la temporalidad analizada, fueron generados por la expansión de los cultivos, al mismo tiempo que las ganancias de esta cobertura reemplazaron vegetación conservada. En

cuanto a la vegetación enferma, esta presentó un incremento en área el cual se puede atribuir a los cambios en el uso del suelo por el crecimiento rural de la vereda en la zona limítrofe del municipio.

Este panorama evidencia la creciente tendencia a la expansión de los procesos productivos, reflejado en el aumento de hectáreas de suelos con intervención. Para este caso la cantidad de hectáreas degradada disminuyó; probablemente por el acondicionamiento del terreno o un cambio en el uso.

Según los datos del NDVI la pérdida de hectáreas de vegetación conservada es más severa en la vereda Sucre del espinal, a pesar de que en la vereda Barzalosa se pasó de tener 349 hectáreas de cultivo a tener 585 hectáreas para el año actual 2021, un salto significativo en comparación a la situación que presenta la vereda Sucre. Los diferentes usos del suelo para cada región determinan la calidad y la conservación de estos, en la vereda Sucre se puede establecer que los procesos productivos tienden a ser más invasivos y nocivos para el suelo.

La pérdida de vegetación trae efectos no solo en los suelos, también sobre la conectividad de los parches, afectando las dinámicas de los sistemas naturales y la biodiversidad en general, lo que ocasiona la pérdida de hábitats potenciales, disminuyendo la disponibilidad de recursos y capacidad para mantener poblaciones, aspectos que deberían estudiarse en posteriores trabajos. Y es que para entender las problemáticas ambientales presentes en un territorio determinado, es preciso estudiarlo de

manera sistémica, no basta con analizar los elementos aislados, sino que debe ser un proceso que articule las interrelaciones de los componentes.

El análisis físico-químico nos permite conocer las condiciones de los suelos objeto del análisis multitemporal, los efectos de las actividades antrópicas serán reflejados en la calidad de los suelos y la disponibilidad de sus componentes necesarios para su adecuado manejo.

Respecto a la evaluación de los metales y sus límites máximos permisibles según entidades internacionales, en general se registran concentraciones normales, aunque hay algunos elementos que sí sugieren la toxicidad del suelo para el cultivo.

Las muestras de suelo de las veredas Sucre y Barzalosa, no presentan patrones o similitudes en sus condiciones, por el contrario, hay diferencias marcadas en los niveles de los elementos estudiados. Los altos niveles de plomo, zinc, níquel, cromo, cobre y arsénico en Barzalosa son ejemplo de ello. Elementos que suelen asociarse a actividades antrópicas, a pesar de que en la vereda Sucre las actividades agrícolas son más intensas por el tipo de uso del suelo, que en la vereda Barzalosa que es de uso agrícola con restricciones por su proximidad a bosques seco tropicales.

Debido a que los metales pesados suponen no solo un problema para el cultivo agrícola sino también para la salud humana por su capacidad de bioacumulación y

biomagnificación, este emerge como un tema potencial de estudio y actuación para el programa de ingeniería ambiental, que podría estudiar la utilidad tanto del biochar como de técnicas de biorremediación

Los resultados de pH obtenidos, no presentan condiciones fuera de los niveles considerados para suelos fértiles, sin embargo este parámetro influye en la capacidad del suelo de brindar elementos esenciales para el crecimiento vegetal.

Los suelos con mayor contenido de carbono orgánico poseen una mayor retención de agua y por lo tanto una mayor capacidad para mantener una densidad más alta de microorganismos, lo que los hace más aptos para el desarrollo de plantas de manera saludable. Los niveles de materia orgánica encontrados en los suelos de la vereda Barzalosa están muy por encima a los encontrados en la vereda Sucre. Además las muestras de suelo de la vereda Barzalosa tenían cantidades considerables de macronutrientes, pero la presencia de niveles elevados de algunos metales pesados puede influir en su producción de materia orgánica. Por el contrario, las muestras tomadas en la vereda Sucre, no presentan niveles elevados de metales pesados, pero los niveles de macronutrientes como NPK y su % MO son considerablemente inferiores, en este caso, la adición del biochar aumentó la producción de biomasa.

Por otra parte la enmienda orgánica influyó de la misma forma en la producción de biomasa para las muestras de la Vereda Barzalosa; a comparación del

biochar que aporta en mayor medida elementos al suelo, la producción de biomasa tiene patrones similares con los dos añadidos, aun así, en las muestras de suelo con biochar tuvieron valores de producción con tendencia a subir para la segunda poda. Se puede asumir que en el largo plazo el biochar puede contribuir de manera positiva a la producción de biomasa; sus altos porcentajes de aporte al suelo son una ventaja frente a la enmienda.

Para un manejo eficiente del suelo en la agricultura se mejorará las características deseables del mismo con prácticas invasivas al suelo, las cantidades nitrógeno, fosforo y potasio, son quizá uno de los parámetros que más tiene relevancia al momento de aplicar agroquímicos o fertilizantes que en muchos casos aportan en exceso elementos ya presentes en suelo y que en algunos casos pueden desencadenar problemas para su manejo.

Además de considerar el aporte que generan otros procesos naturales y antrópicos que aumentan las concentraciones naturalmente encontrados, también se debe tener en cuenta la pérdida de estos elementos por el desequilibrio en el mismo que puede ser a través de la lixiviación y movilidad propia de los elementos en el suelo.

La disminución de la fertilización inorgánica y su complementación mediante la incorporación de enmiendas orgánicas y biochar puede generar un efecto positivo en la búsqueda del equilibrio productivo entre los elementos que componen el suelo. Las

propiedades de los suelos varían naturalmente con el paso del tiempo por factores que determinan su formación como la precipitación, el material de origen, los organismos que lo habitan y la actividad antropogénica.

Finalmente, de acuerdo con los datos obtenidos se podría afirmar que a partir de la siembra de la planta forrajera de tipo C4 (*Brachiaria decumbens* cv. Basilisk), empleada con diferentes sustratos, existe una influencia de las enmiendas en la generación de biomasa, dadas las condiciones y propiedades en las que se encuentra el suelo.

Lista de referencias

Abawi, G. S. y H. O. Thurston. 1994. Efecto de las coberturas y enmiendas orgánicas al suelo y de los cultivos de cobertura sobre los patógenos del suelo y las enfermedades radicales. Una revisión. pp. 97-108. In: Tapado: los sistemas de siembra con cobertura. CATIE-CIIFAD. Ithaca, NY, USA.

Anderson, T. H. and K. H. Domsch. 1989. Ratios of microbial biomass carbon to total org

Borie B & Fuentealba G, R. (1982). Bioquímica de suelos derivados de cenizas volcánicas. 2. Actividad ureasica. *Agricultura Técnica*.

Brady y Weil. (1999). The nature and properties. *Brady, C. N. y R. R. Weil*, 881.

Brendová, K. P. (2012). iochar properties from different materials of plant origin. *Eur. Chem. Bull*, 1: 535-539.

Campbell, D., Fitterman D. (2000). Geoelectrical methods for investigating mine dumps, en Proceedings of the Fifth International Conference on Acid Rock Drainage. *Inc. Denver Colorado, Society for Mining, Metallurgy and Exploration*, v. II, 1513-1523.

Capulín-Grande, J., R. Núñez-Escobar, J. D. Etchevers-Barra y G. A. Baca-Castillo. 2001. Evaluación del extracto líquido de estiércol bovino como insumo de nutrición vegetal en hidroponía. *Agrociencia* 35: 287-299.

Concejo Municipal de Girardot. (Septiembre de 2020). *CONCEJO MUNICIPAL DE GIRARDOT*. Obtenido de CONCEJO MUNICIPAL DE GIRARDOT:

<http://www.concejogirardot-cundinamarca.gov.co/>

Coordinación de Energías Renovables. (2008). *Energía Renovables-Energía Biomasa. Dirección nacional de promoción, 6.*

DANE. (2019). *GIRARDOT CUNDINAMARCA*.

Doran J.W. y T.B. Parkin. (1994). Defining and assessing soil quality. En D. C. J. W.

Doran, Defining and assessing soil quality for sustainable environment (págs. 3-21). Madison Wisconsin: Special Publication 35.

Dorronsoro, G. I. (2005). Contaminación por Metales Pesados. En *Tecnología de Suelos.*

Departamento de Edafología y Química Agrícola. Universidad de Granada, Granada.

Downie, A. A. (2009). Physical properties of biochar. *Biochar for environmental management: Science and technology. Earthscan. London, UK, 13-30.*

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 1991.

Manejo del suelo: producción y uso del compostaje en ambientes tropicales y subtropicales. Boletín (56): 180. Roma, Italia

ForSuelo. (2021). *ForSuelo*. Obtenido de Restauración de Suelos Degradados:

<http://forsuelo.es/servicios-de-fertilizacion/restauracion-de-suelos-degradados/>

Fundación Natura Colombia. (2020). *Fundación Natura Colombia*. Obtenido de

Fundación Natura Colombia: <https://natura.org.co/una-aproximacion-al-ecosistema-de-bosque-seco-tropical-uno-de-los-mas-transformados-en->

- Naturales, S. d. (2007). La conservación de suelos: un asunto de interés público. *Gaceta Ecológica*, 5-6 .
- Oldeman, L. R. (1998). Guidelines for general assessment of the status of human-induced soil degradation. *International Soil Reference and Information Centre (ISRIC)*, Working paper 88/4.
- Ortíz., W. G. (2011). Materiales lignocelulosicos como fuente de biocombustibles y productos quimicos. *TecnoESUFA: revista de tecnología aeronáutica*, 16.
- Perdomo, C. H. (2000). Principales procesos de pérdida de nitrógeno. *Cátedra de Fertilidad de suelos y Fertilizantes. Facultad de Agronomía*.
- PNUMA. (2000). Programa de las Naciones Unidas para el Medio. *Annual Review*. Nairobi, Kenia.
- Prasad, R. and Power, J. F. 1997. Soil fertility management for sustainable agriculture. Lewis Publishers. Boca Raton. New York. 356p.
- Romero et al, .. G.-R.-H. (2007). Suelos y sedimentos afectados por la dispersión de jales inactivos de sulfuros metálicos en la zona minera de Santa Bárbara, Chihuahua, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 234-2, 170-184.
- Rondon, M. A. (2007). Biological nitrogen fixation by common beans (*Phaseolus vulgaris* L. increases with bio-char additions. *Biol. Fertil. Soils*, 43: 699-708.
- Rubio, M. E. (24 de Julio de 2020). AGROSAVIA . Obtenido de IMPACTOS Y POSIBLES SOLUCIONES EN COLOMBIA:
<https://www.agrosavia.co/noticias/impactos-y-posibles-soluciones-a-la-degradaci%C3%B3n-de-suelos-en-colombia>

- Sombroek, W. G. (1993). Amounts, dynamics and sequestering of carbon in tropical and subtropical soils. *Ambio*, (12) 7: 417-426.
- Toribio, G. (25 de Octubre de 2019). *Cursos Teledetección*. Obtenido de Grupo TYC GIS Formación: <https://www.cursosteledeteccion.com/ndvi-que-es-y-para-que-sirve/>
- Tudare, J. L., & Trejo, F. J. (2017). *VARIABILIDAD DE LA VEGETACIÓN CON EL ÍNDICE DE DIFERENCIA NORMALIZADA (NDVI) EN LATINOAMÉRICA*. Obtenido de Novum Scietiarum: file:///C:/Users/USUARIO/Desktop/LAURA_MORA/laura%20pasant%C3%ADa/ARTICULOS/109-372-1-PB.pdf
- UMATA. (2019). *INFORME ANUAL DE ZONAS PRODUCTIVAS DEL MUNICIPIO DE GIRARDOT* . Girardot, Cundinamarca .
- Valero, G. (1993). *Ministerio de Agricultura pesca y alimentación* . Obtenido de Secretaria General de Estructuras Agrarias: https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1993_05.pdf
- Verheijen, F. G. (2009). Biochar application to soils - A critical scientific review of effects on soil properties. *UR 24099 EN, Office for the Official Publications of the European Communities. Luxembourg*.
- Wagner-Riddle et al., C. A. (2007). . Intensive measurement of nitrous oxide emissions from a corn-soybean-wheat rotation under two contrasting management systems over 5 years. *Global Change Biol*, 13: 1722-1736.

Zavollini, C., Alberti, G., Biasiol, S., Vedove, G., Formasier, F., Liu, J., Peressotti, A. (2011). Microbial mineralization of biochar and wheat straw mixture in soil: a short-term study. *Applied Soil Ecology* (50): 45-51.

Zhang, H. (2014) Biochar effects on soil microbial biomass and activity. Tesis PhD. Universidad de Guelph Ontario Canada (pp. 4-35).