

**RESTAURACIÓN DE SUELOS DEGRADADOS POR MONOCULTIVO Y
SOPREPASTOREO, POR MEDIO DE PLANTACIÓN DE GUANDÚ
(Cajanus cajan) Y AJONJOLÍ (Sesamum alatum). GRANJA
PILOTO-UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR**

AUTORES:

**CARABALI HURTADO DIEGO ARMANDO
MEJIA CASTILLO BRANDO DE LA CRUZ**

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y TECNOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
VALLEDUPAR – CESAR**

2020

**RESTAURACIÓN DE SUELOS DEGRADADOS POR MONOCULTIVO Y
SOPREPASTOREO, POR MEDIO DE PLANTACIÓN DE GUANDÚ
(Cajanus cajan) Y AJONJOLÍ (Sesamum alatum).
GRANJA PILOTO-UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR**

AUTORES:

**CARABALI HURTADO DIEGO ARMANDO
MEJIA CASTILLO BRANDO DE LA CRUZ**

DIRECTOR: HECTOR SEGURA

**FACULTAD DE INGENIERIAS Y TECNOLOGICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA
VALLEDUPAR CESAR**

2020

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1: Textura del Suelo.....	17
Tabla 2. Normatividad correspondiente	27
Tabla 3. Parámetros Físicos y Químicos que permiten hacer una caracterización básica del suelo	33
Tabla 4.Posición georreferencial de las parcelas objetas de estudio, Granja Experimental UPC – Vereda El Cielo.....	40
Tabla 5. Rotulo de muestra extraída.....	41
Tabla 6. Resultados de pruebas físicas	42
Tabla 7. Interpretación de los niveles de Carbonato de calcio en el suelo	43
Tabla 8. Resultados de pruebas químicas.....	45
Tabla 9. Interpretación de los niveles de Fósforo en el suelo	45
Tabla 10. Resultados de características físicas del suelo – granulometría y clase textural, Granja Experimental de la Universidad Popular del Cesar	52
Tabla 11. Resultados de características químicas del suelo – pH y saturación de bases, Granja Experimental de la Universidad Popular del Cesar.....	55
Tabla 12. Resultados de características químicas del suelo – carbono total y nitrógeno total, Granja Experimental de la Universidad Popular del Cesar	56
Tabla 13. Resultados de Carbono orgánico, respecto al valor de nitrógeno total..	58
Tabla 14. Resultados de características químicas del suelo – complejos de cambio, Granja Experimental de la Universidad Popular del Cesar	62
Tabla 15. Elementos menores	64
Tabla 16. Resultados de características químicas del suelo – elementos disponibles, Granja Experimental de la Universidad Popular del Cesar	67
Tabla 17. Resultados de características químicas del suelo – elementos disponibles, Granja Experimental de la Universidad Popular del Cesar	68

LISTADO DE GRÁFICAS Y FIGURAS

Figura 1. La aparición de la radícula es el hecho que, en condiciones de laboratorio, indica que la germinación de la semilla ha tenido su lugar.	19
Figura 2. Desde un punto de vista agronómico no se considera que la semilla ha germinado hasta que tiene lugar la emergencia y establecimiento de la plántula.	20
Figura 3. Vereda El Cielo.....	25
Figura 4. Señal del camino Vereda El Cielo.	26
Figura 5. Diseño de siembra, Parcelas.....	34
Figura 6. Granja experimental de la Universidad Popular del Cesar, vereda El Cielo	37
Figura 7. Interpretación del contenido de materia orgánica en función del grupo textural.....	44
Figura 8. Interpretación de la capacidad de intercambio catiónico de un suelo.....	46
Figura 9. Niveles críticos para la interpretación de análisis de suelos en Colombia	48
Figura 10. Diseño de la pila de Guandú (Cajanus cajan).....	49
Figura 11. Diseño de la pila de Ajonjolí (sesamum alatum)	50
Figura 12. Diseño de pila mixta de Guandú y Ajonjolí	50
Gráfica 13. Comparación de %granulometría entre el testigo y especies de plantas – Granja Experimental de la Universidad Popular del Cesar	53
Gráfica 14. Comparación de pH y saturación de bases entre el testigo y especies de plantas – Granja Experimental de la Universidad Popular del Cesar.....	55
Gráfica 15. Comparación de carbono total y nitrógeno total entre el testigo y especies de plantas – Granja Experimental de la Universidad Popular del Cesar	57
Gráfica 16. Comparación de complejo catiónico entre el testigo y especies de plantas – Granja Experimental de la Universidad Popular del Cesar.....	62
Figura 17. Elementos menores	65

Gráfica 18.Comparación de relaciones catiónicas entre el testigo y especies de plantas – Granja Experimental de la Universidad Popular del Cesar.....69

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Granja experimental Universidad Popular del Cesar	77
Anexo 2.Reconocimiento del terreno	78
Anexo 3.Plantación de semillas de Guandú y Ajonjolí en el vivero.....	79
Anexo 4.Germinación de semillas de Guandú y Ajonjolí	80
Anexo 5. Construcción de las parcelas de los tratamientos A, AB y B	82
Anexo 6. Siembra de las plantas en las parcelas A, AB y B	84
Anexo 7. Crecimiento de las plantas.....	86
Anexo 8. Toma de muestras finales en las parcelas.....	88
Anexo 9. Resultados de pruebas de laboratorio del IGAC.....	89

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCION	1
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.1. DESCRIPCION DEL PROBLEMA	2
1.2. FORMULACION DEL PROBLEMA	3
2. JUSTIFICACIÓN	4
3. OBJETIVOS	6
3.1. OBJETIVO GENERAL	6
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	6
4. MARCO REFERENCIAL	7
4.1. ANTECEDENTES	7
4.2. MARCO TEORICO	15
4.3. MARCO CONCEPTUAL	23
4.4. MARCO CONTEXTUAL	24
1.1.1 Recorrido	26
4.5. MARCO LEGAL	27
4.6. MARCO INSTITUCIONAL	29
1.1.2 Misión	29
1.1.3 Visión	30
1.1.4 Objetivos	30
5. MARCO METODOLOGICO	31
5.1. TIPO DE INVESTIGACION	31
5.2. LÍNEA DE INVESTIGACIÓN	31
1.1.5 Sub línea de investigación	31
5.3. POBLACIÓN	31
5.4. MUESTRA	32
5.5. DELIMITACIÓN DEL PROYECTO	34
5.6. DESARROLLO DE LAS FASES METODOLOGICAS	35

5.6.1. Fase 1: Caracterizar los parámetros Fisicoquímicos, de las muestras tomadas del área afectada por monocultivo en la granja piloto- Universidad Popular Del Cesar.	35
5.6.2. Fase 2: Implementar las especies guandú (<i>cajanus cajan</i>) y ajonjolí (<i>sesamum alatum</i>) en el área afectada por Monocultivo de algodón en la granja piloto- Universidad Popular Del Cesar	35
5.6.3. Fase 3: Evaluar el porcentaje de restauración donde plantamos las especies seleccionadas.	36
6. resultados y análisis	37
6.1. caracterización de la zona de estudio.....	37
6.2. FASE I: CARACTERIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DE LAS MUESTRAS TOMADAS DEL ÁREA AFECTADA POR MONOCULTIVO EN LA GRANJA PILOTO-UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR.....	38
6.2.2. Selección de la zona de muestreo del suelo	38
6.2.3. Delimitación de área de estudio.....	39
6.3. Toma de muestra	40
6.4. Resultados de los parámetros físico químicos del suelo tomada de la parcela en la granja experimental UPC – El Cielo	42
6.4.2. Textura	42
6.4.3. pH	42
6.4.4. Carbono orgánico del suelo (COS).....	43
6.4.5. Carbono total	44
6.4.6. Nitrógeno total.....	44
6.4.7. Fósforo disponible	45
6.4.8. Complejo de cambio	46
6.5. FASE II. Implementación de las especies guandú (<i>cajanus cajan</i>) y ajonjolí (<i>sesamum alatum</i>) en el área afectada por Monocultivo de algodón en la granja piloto- Universidad Popular Del Cesar	48
6.5.2. Guandú (<i>cajanus cajan</i>).....	49

6.5.3. Ajonjolí (sesamum alatum).....	50
6.5.4. Guandú (cajanus cajan) y Ajonjolí (sesamum alatum)	50
6.6. FASE III. EVALUACIÓN DEL PORCENTAJE DE RESTAURACION DE LAS CARACTERISTICAS DEL SUELO A PARTIR DE LAS ESPECIES SELECCIONADAS	51
6.6.1. Características físicas del suelo: textura del suelo	52
6.6.2. Características químicas del suelo.....	54
6.6.2.1. Potencial de hidrogeno y porcentaje de saturación de bases..	54
6.6.2.2. Porcentaje de carbono total y nitrógeno total	56
6.6.2.3. Complejos de cambio	61
6.6.2.4. Elementos disponibles	66
6.6.2.5. Relaciones catiónicas.....	68
6.6.2.6. Correlación lineal Nitrógeno total-Carbono total	70
7. CONCLUSIONES	72
8. RECOMENDACIONES.....	73
9. BIBLIOGRAFÍA.....	74
10. ANEXOS	77

INTRODUCCION

Actualmente, la contaminación de los suelos se encuentra cada vez más en el punto de mira de la gestión medioambiental, debido principalmente al riesgo que un suelo contaminado puede suponer para la salud humana y para el correcto funcionamiento de los ecosistemas. Pero a pesar de los problemas que pueden ocasionar esta contaminación, el hombre sigue abusando del suelo; utilizando de manera continua e indiscriminada en muchas ocasiones, las propiedades naturales del suelo le permiten auto – regenerarse en ciertas condiciones no muy extremas, pero al someterlas a actividades (industriales, agrarias, etc.) de gran incidencia sobre el suelo, sus propiedades quedan anuladas y pierden la capacidad de autogeneración.

El monocultivo es uno de los principales problemas de degradación de los suelos de Colombia y principalmente en el departamento del Cesar, el monocultivo de caña de azúcar, maíz, algodón, cereal y otros. Que son los principales cultivos que se presenta en nuestro territorio nacional, lo cual produce degradación del suelo debido a que estos solo absorbe los nutrientes que consideran necesarios para su crecimiento, haciendo así, que el suelo pierda la fertilidad al acabarse con uno (o más) de sus nutrientes. El monocultivo de algodón fue durante muchos años la principal economía del departamento del Cesar dejando así mucha degradación en nuestros suelos por el cultivo sin ningún tipo de control. La granja piloto de la universidad popular del Cesar antes de pertenecer a esta, se realizaba actividades de monocultivo de algodón y otras actividades, las cuales produjeron una degradación física y química del suelo en algunos tramos del terreno donde se evidencia que ha perdido su condición de regeneración.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCION DEL PROBLEMA

La granja piloto es un espacio en propiedad de la Universidad Popular del Cesar ubicado a 15 kilómetros de la ciudad de Valledupar, vía al corregimiento de Valencia de Jesús, este campus tiene como finalidad el desarrollo de proyectos y prácticas educativas en la facultad de ingenierías y tecnológicas de la Universidad Popular Del Cesar, más propiamente del departamento de Ingeniería Agroindustrial y el departamento de Ingeniería Ambiental y Sanitaria. A mediados del siglo XX la ganadería, era la principal actividad productiva en el Cesar y se ubicaba principalmente en las sabanas naturales (Wagner, 2011). Sin embargo, después de esto según (Bonet & Aguilera, 2018) “en el Cesar el cultivo de algodón se inició a fines de los cuarenta en Codazzi, sin mecanización y en tierras arrendadas. En los años cincuenta se expandió hacia la zona norte, en San Diego, La Paz, Valledupar, El Copey y Bosconia”. De esta manera, según (León, 2007) “El IFA fue el motor inicial del desarrollo del cultivo de algodón en el Cesar a partir del modelo de Revolución Verde. Este paquete tecnológico significó la dependencia de varios insumos importados: variedades de semillas de alto rendimiento, tractores, pesticidas y fertilizantes”. El uso de estas prácticas dejó como resultado una variedad de problemas ambientales como la deforestación de bosques secos, la degradación del suelo, la contaminación de ecosistemas y la generación de problemas de salud en los trabajadores y habitantes de la región (Wagner, 2011).

Por otra parte, el ecosistema del campus corresponde a bosque seco tropical (BST) el cual es uno de los ecosistemas más degradados a nivel mundial, Originalmente este ecosistema cubría más de 9 millones de hectáreas, de las cuales quedan en la actualidad apenas un 8%, por lo cual es uno de los ecosistemas más amenazados en el país. Esto se debe a que el bosque seco existe en zonas con suelos relativamente fértiles, que han sido altamente intervenidos para la producción

agrícola y ganadera, la minería, el desarrollo urbano y el turismo. Esta transformación es nefasta para la biodiversidad asociada al bosque seco y los servicios que presta este bosque. (IAVH, 2014).

El Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt realizó el análisis del mapa de distribución del BST en el país e indica que el 65% de las tierras que han sido deforestadas y eran bosque seco presentan desertificación. Esto quiere decir que esas tierras están tan degradadas que ya la producción agrícola o ganadera, es insostenible. Lo más preocupante es que tan sólo el 5% de lo que queda, es decir el 0.4% de lo que había, está presente en el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP) (IAVH, 2014).

1.2. FORMULACION DEL PROBLEMA

Con la descripción de dicha afectación al recurso suelo, se establece la siguiente pregunta de investigación ¿será la PLANTACION DE GUANDÚ (*Cajanus cajan*) Y AJONJOLÍ (*Sesamum alatum*) una alternativa de restauración para suelos degradados por monocultivo ?

2. JUSTIFICACIÓN

Desde los inicios el suelo ha sido parte fundamental para el desarrollo de los seres humanos, implementando y operando actividades que han aportado a dicho desarrollo, además todas las especies se relacionan de cierta forma con este recurso natural, por lo tanto, ha sido crucial para sostener la vida en el planeta.

Debido a la gran importancia del suelo es necesario buscar alternativas como medidas de mitigación y conservación para resarcir los impactos que estos reciben debido a las diversas degradaciones (Natural-Antrópica).

La restauración de los suelos por medio de la plantación de GUANDU Y ANJONJOLI es una medida EFECTIVA para fijar macronutrientes en el suelo como nitrógeno (N), potasio (K) fosforo (P). Los cuales son los principales nutrientes que se el suelo posee para su fertilidad y así lograr una restauración de los suelos y hace una recuperación esto suelos infértiles a causa del sobre pastoreo de ganado y el monocultivo de algodón.

Las leguminosas se caracterizan por ser fijadoras de Nitrógeno. Esto quiere decir que producen este elemento para su nutrición y lo proporcionan al suelo. Para hacerlo, utilizan rizobios (*Rhizobium leguminosarum*) que son bacterias que forman nódulos en las raíces de las plantas. Estas bacterias toman el nitrógeno de la atmósfera para convertirlo en nutrientes disponibles para la planta. Mientras que la planta provee de componentes orgánicos obtenidos por la fotosíntesis. (REYNOSO, 2016)

Además de ser una alternativa efectiva, debido a los diferentes antecedentes que indican, que cierto tipo de especies suelen ser cultivos remediadores para el suelo, se puede usar el producto para consumo personal, el guandú es un grano que es muy apetecido en la gastronomía del caribe colombiano donde encontramos platos

como el sancocho de guandú con carne salada, en cuanto al ajonjolí sus semillas, hojas y brotes son comestibles, al igual también se podrían obtener semillas para expandir la restauración, plantando más especies en otro tipo de suelos degradados.

Es importante conservar el ecosistema de bosque seco tropical colombiano, que es considerado uno de los ecosistemas más degradados en el planeta, y esta es una medida excelente para que el suelo adquiriera capacidad de regenerarse obteniendo macronutrientes y micronutrientes de la flora que deseamos implementar en este trabajo, beneficiando así el campus universitario y aportando a la restauración del ecosistema (BST). (IAVH, 2014)

Por esta razón y por la problemática planteada anteriormente, se postula a este método como una posible opción para la restauración en suelos degradados por monocultivo dentro de un área de bosque seco tropical la cual corresponde a la granja piloto de la Universidad Popular del Cesar.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Realizar la restauración, por medio de plantación de guandú (*cajanus cajan*) y ajonjolí (*sesamum alatum*) en suelos degradados por monocultivo y sobrepastoreo en la granja piloto-Universidad Popular Del Cesar.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar los parámetros Físicoquímicos, de las muestras tomadas del área afectada por monocultivo en la granja piloto-Universidad Popular Del Cesar.
- Implementar las especies guandú (*cajanus cajan*) y ajonjolí (*sesamum alatum*) en el área afectada por Monocultivo de algodón en la granja piloto-Universidad Popular Del Cesar
- Evaluar el porcentaje de restauración donde plantamos las especies seleccionadas.

4. MARCO REFERENCIAL

4.1. ANTECEDENTES

PLATA ORTIZ ANYI LICETH & QUINTERO ORTIZ RICHARD EDUARDO, (2019) RECUPERACION DE LOS SUELOS MINEROS DISTURBADOS A TRAVES DE LOS PROCESOS DE LOMBRICULTURA Y COMPOST EN LA MINA EL CIELO CORREGIMIENTO DE VALENCIA DE JESUS CESAR- Desarrollaron unos biofertilizantes (lombricultura, compost, lombricompost y humus liquido) para recuperar los suelos mineros disturbados a través de los procesos de lombricultura y compost en la mina el cielo corregimiento de Valencia de Jesús.

BOLAÑOS LAURA VANESA & GUERRA MARYOURY, (2017) EVALUAR LA CAPACIDAD DE REMEDIACIÓN DE VERDOLAGA (PORTULACA OLERACEA) Y ENMIENDAS SOBRE UN SUELO SALINO MINERO CON EFLORESCENCIAS SALINAS PROCEDENTE DE LA ZONA CARBONÍFERA DE EL PASO – CESAR, (COLOMBIA). Desarrolló un estudio con el objetivo de evaluar la capacidad de remediación de Verdolaga (Portulaca oleracea) y enmiendas sobre un suelo salino minero con eflorescencias salinas procedente de la zona carbonífera de El Paso – Cesar. La metodología comprendió el análisis fisicoquímico y microbiológico del suelo salino, valoración de germinación y rendimiento de la Verdolaga en diferentes sustratos correspondientes al suelo problema, biochar y vermicompost en diferentes concentraciones experimentales y posterior medición del porcentaje de remediación in vitro del suelo bajo estudio, mediante el uso de la Verdolaga y enmiendas, teniendo en cuenta parámetros como acidez y conductividad.

OLIVEROS BOHORQUEZ DAYANA MARCELA, MOLINA CORPUS IVAN DAVID, (2016) EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUIMICAS DE SUELOS MINEROS EN EL CORREGIMIENTO DE LA LOMA CESAR. En este proyecto se determinaron las propiedades fisicoquímicas de suelos mineros influenciados por la

actividad minera de carbón en la zona, para evaluar las potencialidades, deficiencias y limitantes en un posterior proceso de restauración.

MANUEL ERACLIO AGUILAR AGUILAR (2016) “EVALUACIÓN DE TRES ABONOS VERDES, MEZCLAS DE LEGUMINOSA MÁS GRAMÍNEA, CRUCÍFERA Y AMARANTHACEAE, EN LOS SUELOS AGRÍCOLAS DEGRADADOS DEL CANTÓN BOLÍVAR”. Tuvo como objetivo identificar la potencialidad de especies vegetales herbáceas (domesticadas y silvestres), en la producción de biomasa, con fines de recuperar suelos degradados en el área de influencia del sistema de riego Montúfar, cantón Bolívar, provincia de Carchi.

Las parcelas investigativas estuvieron ubicadas en el sector de San Joaquín, parroquia Bolívar, a 2510 msnm. Los tratamientos fueron: asociación de Avena forrajera (*Avena Sativa*, Linneo), más Vicia (*Vicia hajastana*, Cells); Rábano Silvestre (*Raphanus sativus*, Linneo); Bledo (*Amaranthus dubius*, Linneo); y, el Testigo absoluto, donde nacieron plantas arvenses. La siembra se realizó al voleo y en el testigo no se sembró, nacieron plantas de semillas propagadas en el sitio. Se utilizó el Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA) con cuatro tratamientos y tres repeticiones. Las variables evaluadas fueron sometidas al ADEVA y prueba de Tukey al 5%; determinando alta significancia en la variable producción de materia seca; el mayor rendimiento obtuvo el tratamiento uno, 5,4 t/ha, en el testigo crecieron en abundancia una variedad de Nabo silvestre, que produjo 4,03 t/ha. La mayor aportación de materia orgánica la obtuvo el T1, 4,5 t/ha; seguido por el T2, 1,5 t/ha. El mayor incremento de materia orgánica en el suelo, luego de 30 días de incorporada la biomasa se obtuvo con el T4, con 1,4% y el T3, con 1,31%.

LUIS ALBERTO CHUQUICHAICO SAMANIEGO (2016) “IMPACTO DE LA REFORESTACIÓN EN LA RECUPERACIÓN DE LOS SUELOS DEGRADADOS EN LA MICROCUENCA DEL RÍO MONZÓN - REGIÓN HUÁNUCO”. En el estudio se reconocen dos niveles del problema. El primero es la creciente degradación de los suelos de la microcuenca del río Monzón y el segundo es el escaso conocimiento

de los pobladores del Monzón, sobre la importancia de los recursos naturales y uso sostenible de los mismos. Problemas que están íntimamente relacionados entre sí. La metodología optada para el desarrollo del presente estudio, fue mediante el uso de la investigación científica y aplicada, que sirvió para plantear los supuestos teóricos importantes de la tesis, a partir del planteamiento del problema, hasta la constatación de la hipótesis. Cabe señalar que la revisión y recopilación de información, se han realizado a través de las teorías vinculadas con el impacto de la reforestación en la recuperación de suelos degradados por el cultivo de coca ilícita del marco teórico, el aporte brindado por los especialistas relacionados con cada uno de las variables, el mismo que clarifica el tema en referencia.

Al ampliarse el panorama del estudio con el aporte de los propios agricultores; respaldado con las citas bibliográficas dan validez a la investigación. Respecto al trabajo de campo, el instrumento empleado fue la técnica de encuesta y entrevistas, facilitando el desarrollo del estudio; culminando con la contrastación de las hipótesis. En conclusión, los resultados obtenidos han permitido determinar que la reforestación impacta favorablemente en la recuperación de suelos degradados en la microcuenca del río Monzón. Por lo tanto, los objetivos planteados en la investigación se cumplieron acorde a lo planificado y la información encontrada en la investigación facilitó el logro de los mismos. Asimismo, se destaca que, para el desarrollo de la investigación, el esquema planteado en cada uno de los capítulos, hizo didáctica la presentación.

JIAN XIONG (2015) RECUPERACION Y REHABILITACION DE SUELOS CONTAMINADOS CON ELEMENTOS TRAZA MEDIANTE LA APLICACIÓN DE ENMIENDAS Y EL ESTABLECIMIENTO DE UNA CUBIERTA VEGETAL NATURAL O DE UNA PLANTA DE CRECIMIENTO RAPIDO (PAULOWNIA FORTUNEI). En la presente Tesis se llevó a cabo dos experimentos de recuperación natural asistida de suelos contaminados con elementos traza, uno en condiciones de campo y otro en contenedores al aire libre (condiciones de semicampo). Los principales objetivos de dichos experimentos fueron:

1) el estudio del efecto de enmiendas en las propiedades químicas y bioquímicas de suelos contaminados con elementos traza; 2) la evaluación del efecto de las enmiendas en las variaciones de las concentraciones de elementos traza biodisponibles a medio y largo plazo; 3) el estudio del efecto de las enmiendas en el crecimiento de la vegetación espontánea; 4) la evaluación del efecto de las enmiendas en el desarrollo de la especie de crecimiento rápido (*Paulownia ssp*) y en la cantidad y calidad de la biomasa obtenida; 5) el estudio del efecto de enmiendas en la translocación de elementos traza a la parte aérea de las plantas.

El experimento de campo se llevó a cabo en una parcela (20 x 50m) de suelo ácido contaminado con As, Cd, Cu, Zn y Pb, que se dividió en 12 subparcelas de 7 x 8 metros cada una, con un pasillo de 1 m (largo) y 2 m (ancho) entre las subparcelas. Se establecieron tres tratamientos con enmienda: SL (espuma de azucarera), BC (compost de biosólidos), y LESL (mezcla de leonardita y espuma de azucarera) y un tratamiento control (NA) sin adición de enmiendas, siguiendo un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones por tratamiento. Las dosis de enmienda fueron: BC: 30 Mg ha⁻¹ año⁻¹, SL: 30 Mg ha⁻¹ año⁻¹, y LESL: 25 Mg ha⁻¹ año⁻¹ más 10 Mg ha⁻¹ año⁻¹ de SL.

Las concentraciones de N, P y K en hojas de *Paulownia* fueron mayores que los valores medios normales prácticamente en todos los casos. En general dichas concentraciones fueron muy similares en los suelos NC y AZ y algo más bajas en el suelo V. Solamente se observaron aumentos de las concentraciones de dichos elementos, atribuibles a las enmiendas, en el contenido en N de las plantas que crecieron en el suelo NC y de los tres nutrientes de las plantas que crecieron en el suelo V, si bien no siempre las diferencias fueron significativas. Los valores medios de las concentraciones de As, Cd, Cu, Pb y Zn en hojas de *Paulownia* de los tres suelos estudiados no mostraron diferencias significativas atribuibles a las enmiendas, y estuvieron dentro de los intervalos normales, a excepción de las de Cu, que superaron el límite superior del intervalo debido a la capacidad de esta planta para acumular de este elemento. La tendencia de los coeficientes de transferencia fue la misma en los tres suelos: Pb<As<Cd<Zn<Cu, con las únicas

anomalías en Pb y Zn en el suelo V, que en este caso es $Cu < Zn$. En el tronco y las raíces tampoco se observaron diferencias significativas atribuibles a las enmiendas en las concentraciones medias de los elementos traza, cuyos valores siguieron distintas tendencias para cada elemento. Así, los elementos menos móviles (As y Pb) se acumulan en las raíces, y el Cd, más móvil, en las hojas. Las concentraciones medias de Zn y Cu fueron muy similares en las tres partes estudiadas de la planta. Las cantidades totales extraídas del suelo por la planta fueron muy bajas, $< 2\%$ del contenido en el suelo, por lo que esta planta no puede considerarse como una especie fitoextractora, al menos bajo las condiciones del presente estudio. Sin embargo, el hecho de que esta planta crezca en suelos contaminados y que su crecimiento mejore con la adición de enmiendas, la hacen viable para la fitoestabilización de dichos elementos, permitiendo a su vez la utilización de esos suelos para la obtención de su biomasa con fines energéticos. Los resultados obtenidos muestran que el uso combinado de *P. fortunei* y la adición de enmiendas orgánicas al suelo podría ser una estrategia factible para la recuperación de áreas contaminadas con elementos traza bajo clima mediterráneo y promover su valorización económica.

CARLOS MATÍAS ROMERO (2014) ESTADO DE GRADACIÓN/RECUPERACIÓN DE SUELOS AGRÍCOLAS EN EL DEPARTAMENTO TERCERO ARRIBA (CÓRDOBA). En este trabajo de tesis se caracterizó el estado de degradación/recuperación del suelo en sistemas agrícolas con siembra directa y labranza convencional, mediante la determinación del grado de resiliencia de los procesos de humificación y nitrificación, con la finalidad de establecer prácticas de manejo acordes a las condiciones agroecológicas de la región semiárida Central de Argentina. El estudio se realizó en la pedanía Salto del departamento Tercero Arriba, de la provincia de Córdoba, caracterizada por ser el núcleo histórico de la producción de maní (*Arachis hypogaea* L.) en la Argentina. Se evaluaron las siguientes situaciones agrícolas: tres bajo siembra directa (5 años) con diferentes secuencias de cultivos (con monocultivo de soja, y con las rotaciones soja/sorgo y

sorgo/soja) y dos bajo labranza convencional (rotación soja/sorgo/maní y soja/maní/sorgo). Además, se analizó un sitio en restauración mediante clausura y un sitio con vegetación nativa (control). En cada situación se tomaron muestras superficiales de suelo al final del periodo de barbecho del año 2012. Para la caracterización de los suelos se determinó: humedad, pH, conductibilidad, textura y fraccionamiento por tamaño de partículas. Para evaluar el proceso de humificación se determinó: materia orgánica total, sustancias húmicas y ácidos fúlvicos. Para el proceso de nitrificación: contenido de nitratos, abundancia de microorganismos nitrificadores y actividad nitrificadora. Los resultados muestran un impacto negativo de las prácticas agrícolas sobre el contenido de materia orgánica y las fracciones recalcitrantes de la misma en relación al sitio control. Los ácidos fúlvicos se presentan como la fracción más sensible al manejo agronómico. Las prácticas agrícolas afectaron negativamente la actividad nitrificadora pero no la abundancia de los microorganismos nitrificadores. El análisis de la resiliencia del proceso de nitrificación y humificación indica escaso efecto de la siembra directa en el corto plazo desde la labranza convencional. Asimismo, la práctica de clausura permite visualizar la pobre capacidad intrínseca de los suelos de la región para recuperar su fertilidad *per sé*. Con este criterio, el manejo agrícola actual en la región semiárida central de la provincia de Córdoba tiene una baja probabilidad de mejorar la resiliencia de los procesos de humificación y nitrificación frente al uso intensivo de los suelos.

BEATRIZ G. ARRIETA-RAMOS, J. DIEGO GARCÍA-PAREDES, VÍCTOR M. JIMÉNEZ-MEZA, FREDY I. SALAZAR-JARA, ANA L. SÁNCHEZ-MONTEÓN AND GELASIO ALEJO-SANTIAGO. (2012) DEGRADACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE SUELOS AGRÍCOLAS EN SAN PEDRO LAGUNILLAS, NAYARIT.

El objetivo de este estudio fue evaluar la degradación de suelos para proponer estrategias de remediación y recuperación de los suelos agrícolas de San Pedro Lagunillas, Nayarit, México. Se compararon suelos mantenidos con vegetación natural pero ligeramente pastoreados contra suelos agrícolas de temporal utilizados

por más de 20 años para la producción de diversos cultivos. Se estudiaron ocho sitios (cuatro cultivados y cuatro no cultivados), en cada uno de ellos los suelos agrícolas (cultivados) se ubicaron a una distancia entre 30 a 80 m con respecto a su contraparte o suelos con vegetación natural (no cultivados). Se obtuvieron muestras de los siguientes estratos: 0 a 10, 10 a 20 y 20 a 30 cm de profundidad; se cuantificó: peso de partículas menores a 2 mm, pH, materia orgánica, fósforo extractable; potasio, calcio y magnesio intercambiables, y textura. También se midió la velocidad de infiltración de agua. Se realizó un análisis de varianza y la prueba de medias de Tukey ($\alpha=0.05$). Se concluye que las prácticas de cultivo tradicionales provocaron cambios adversos en los parámetros químicos (MO, P extractable, y K) en los primeros 20 cm de suelo. Las propiedades físicas también se vieron deterioradas ya que la lámina infiltrada y velocidad de infiltración se redujeron cerca del 50% en los suelos cultivados. Los resultados de este trabajo hacen evidente la necesidad de tomar medidas convenientes para evitar la degradación física y química de los suelos cultivados, con el propósito de preservar este recurso y mantener su productividad.

ANGÉLICA EVELIN DELGADILLO LÓPEZ, CÉSAR ABELARDO GONZÁLEZ RAMÍREZ, FRANCISCO PRIETO-GARCÍA, JOSÉ ROBERTO VILLAGÓMEZ IBARRA & OTILIO ACEVEDO SANDOVAL, (2011) "FITORREMEDIACIÓN: UNA ALTERNATIVA PARA ELIMINAR LA CONTAMINACIÓN". La fitorremediación aprovecha la capacidad de ciertas plantas para absorber, acumular, metabolizar, volatilizar o estabilizar contaminantes presentes en el suelo, aire, agua o sedimentos como: metales pesados, metales radioactivos, compuestos orgánicos y compuestos derivados del petróleo. Estas fitotecnologías ofrecen numerosas ventajas en relación con los métodos fisicoquímicos que se usan en la actualidad, por ejemplo, su amplia aplicabilidad y bajo costo. En esta revisión se presenta un panorama de las diversas técnicas fitocorrectivas empleadas para restaurar suelos y efluentes contaminados; así como del potencial que ofrece el uso de plantas transgénicas.

VIDAL DURANGO JHON VÍCTOR, MARRUGO NEGRETE JOSÉ LUIS, JARAMILLO COLORADO BEATRIZ, PEREZ CASTRO LIBIA MARÍA, (2010). REMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS CON MERCURIO UTILIZANDO GUARUMO (CECROPIA PELTATA), (COLOMBIA). La contaminación de suelos por el mercurio resultante de la explotación aurífera puede ser remediada mediante la utilización de plantas que lo acumulan en sus tejidos, disminuyendo su impacto sobre los ecosistemas y la salud humana. En este trabajo se determinó la influencia del grado de contaminación, la aplicación de ácido cítrico y tiempo de crecimiento del guarumo, sobre la tasa de remoción de mercurio en suelo. Después de 4 meses de crecimiento, los porcentajes de remoción estuvieron entre 15.7% y 33.7% debido a la capacidad del guarumo para acumular grandes cantidades del metal sin presentar efectos tóxicos considerables, así como al alto contenido de mercurio biodisponible en los suelos contaminados, lo que conllevó también a que el ácido cítrico no tuviera una influencia significativa sobre la recuperación de Hg; por lo cual se concluyó, que el guarumo es una especie con capacidad fitorremediadora.

PROGRAMA DE PEQUEÑAS DONACIONES FONDO PARA EL MEDIO AMBIENTE MUNDIAL PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO (2007) RECUPERACIÓN DE LA FERTILIDAD DE LOS SUELOS DE LA COMUNIDAD COSTERA DE DOLORES DEL MUNICIPIO CAIBARIÉN EN VILLA CLARA. Los suelos de la Comunidad “Dolores” en el Municipio de Caibarién, Provincia de Villa Clara, están altamente afectados por un proceso degradativo, donde se combinan el mal drenaje, la salinidad, e inadecuada explotación de los suelos, lo que ha ocasionado disminución de los rendimientos de varios cultivos, también ha contribuido negativamente, los daños a las redes de drenaje natural y artificial y el aumento de la intrusión salina en el territorio producto de la destrucción progresiva del bosque bajo subcostero de la costa norte, se propone en el presente Proyecto la recuperación de 400 ha. Pertenecientes a la CCS Alberto Pí a partir de medidas de rehabilitación, enmiendas y mejoramiento de los suelos, rescate y rehabilitación de las especies autóctonas y el empleo de una nueva fuente

alternativa de Materia Orgánica para el saneamiento ambiental y su uso en la recuperación de la fertilidad del suelo, que sirvan de referencia para las restantes formas productivas de la zona con similares problemas ambientales.

Además, como uno de los aspectos más importantes a considerar en el Proyecto se desarrolla un Programa de Capacitación dirigido a productores y sus familias de la CCS Alberto Pi que permita elevar la cultura ambiental y por consiguiente su calidad de vida.

4.2. MARCO TEÓRICO

El suelo está compuesto por minerales, materia orgánica, diminutos organismos vegetales y animales, aire y agua. Es una capa delgada que se ha formado muy lentamente, a través de los siglos, con la desintegración de las rocas superficiales por la acción del agua, los cambios de temperatura y el viento. Las plantas y animales que crecen y mueren dentro y sobre el suelo son descompuestos por los microorganismos, transformados en materia orgánica y mezclados con el suelo. Los minerales provienen de la roca madre, que se deshace lentamente. También pueden ser aportados por el viento y el agua, que los arrastran desde otras zonas erosionadas. La materia orgánica es el producto de la descomposición de vegetales y animales muertos. Puede almacenar gran cantidad de agua y es rica en minerales. (FAO, 1996)

Los microorganismos o pequeños organismos son de dos tipos: los que despedazan la materia orgánica (insectos y lombrices) y los que la descomponen liberando los nutrientes (hongos, bacterias). Viven dentro del suelo y, además de intervenir para que la materia orgánica sea nuevamente utilizada por las plantas, ayudan a pulverizar las rocas. Lombrices e insectos forman poros que permiten la aireación, el almacenaje del agua y el crecimiento de las raíces. Cuando el agua del suelo escasea, se detiene el crecimiento de las plantas, que llegan a marchitarse y morir. Un exceso de agua desplaza el aire del suelo. Este es importante porque aporta

oxígeno para la respiración de las raíces. Además es la fuente del nitrógeno que transforman las bacterias, haciéndolo aprovechable por las plantas. (FAO, 1996)

El suelo puede dividirse en horizontes (capas paralelas superpuestas) de diferente textura, color y consistencia, denominados perfil del suelo a la disposición en la vertical de dichos horizontes. El perfil del suelo consta de 3 partes básicas denominadas Horizonte A, Horizonte B y Horizonte C. (Textos Científicos, 2006)

El horizonte A es la capa más superficial del suelo siendo una zona rica en materia orgánica, con una densa población biológica, presenta por lo general colores oscuros debido a la presencia del humus. Recibe el nombre de horizonte de elevación por estar sometido a un fuerte lavado por el agua de precipitación. En esto se verifica el transporte vertical hacia debajo de materiales.

El horizonte B se encuentra debajo del horizonte A, constituye el horizonte de eluviación, caracterizado por la acumulación de materiales procedentes del horizonte A los horizontes A y B constituyen el suelo propiamente dicho.

El horizonte c es el subsuelo, es decir la roca madre erosionada, y debajo de este se encuentra la roca madre u otro lecho rocoso subyacente denominada horizonte D.

En cuanto a la estructura se refiere a la manera en que las partículas que los constituyen se agrupan en fragmentos mayores juntos por los coloidales del suelo. La estructura influye en la proporción de agua que es absorbida por el suelo, en la susceptibilidad del suelo a la erosión con la porosidad, aireación y drenaje. (Textos Científicos, 2006)

La textura es una propiedad que hace referencia al tamaño de las partículas que lo componen, clasificando a las partículas según su diámetro en (Ver tabla1: Textura del suelo).

Tabla 1: Textura del Suelo

Materia	Diámetro
Grava	1 mm en adelante
Arena	1 -- 5 mm en adelante
Limo	0,05 --0,002 mm
Arcilla	0,002 mm

Fuente: (Textos Científicos, 2006)

La textura determinada en gran parte la retención de agua y las propiedades de transmisión del suelo. Por ejemplo, la arena puede drenar rápidamente, en un suelo arcilloso, los poros son demasiados pequeños para permitir un drenaje adecuado. Cuando las proporciones de arcilla y limo son elevadas, la penetración de las raíces resulta dificultosa. Las texturas equilibradas son óptimas para el crecimiento de las plantas. (Textos Científicos, 2006)

La degradación de los suelos se refiere a la disminución o alteración negativa de una o varias de las ofertas de bienes, servicios y/o funciones eco sistémicos y ambientales de los suelos, ocasionada por factores y procesos naturales o antrópicos que, en casos críticos, pueden originar la pérdida o la destrucción total del componente ambiental (IDEAM, 2016) Este es el resultado de la interacción de factores naturales y/o antrópicos que activan y desencadenan procesos que generan cambios negativos en las propiedades y funciones del suelo. Entre los factores directos que inciden en la degradación de los suelos, se encuentran los naturales que incluyen el clima, el agua, las características edáficas, el relieve y la cobertura, y los de tipo antrópico que están relacionados con los tipos de uso y de manejo. La degradación de los suelos puede agruparse en física, química y biológica; en la degradación física se destaca la erosión, la compactación, el sellamiento, la desertificación, entre otras; en la degradación química la pérdida de nutrientes y a su desbalance en el suelo, a los cambios en el pH (salinización o

acidificación) y a la contaminación; y en la degradación biológica, la disminución de la materia orgánica y el carbono de los suelos, por factores y procesos naturales como el clima, el relieve o por acción humana como la deforestación, las quemas, el uso y manejo no sostenibles, entre otros. (SIAC, s.f.)

Por otro lado, La compactación es causada por el efecto repetitivo y acumulativo producido por la maquinaria agrícola pesada y por el pastoreo excesivo, en condiciones de humedad elevada del suelo. No es específica de suelos agrarios, sino que también son susceptibles los lugares ocupados por edificios y las áreas recreativas muy frecuentadas.

Existen dos tipos principales de compactación: la que se produce a poca profundidad o la que se produce a mayor profundidad, a nivel del subsuelo. La primera tiene lugar preferentemente en las fases preparatorias de la tierra para la siembra, con la utilización de fertilizantes y pesticidas. La compactación a nivel del subsuelo es causada por la maquinaria pesada utilizada durante la cosecha y por la diseminación de restos orgánicos de origen animal con tanques de gran capacidad que poseen ejes pesados. La compactación del suelo es potencialmente la mayor amenaza para la productividad agrícola.

La incidencia de la erosión por el viento, propia de climas áridos y semiáridos, es casi siempre debida a la disminución de la cubierta vegetal del suelo, bien por sobrepastoreo o a causa de la eliminación de la vegetación para usos domésticos o agrícolas.

La compactación modifica la actividad bioquímica y microbiológica del suelo. El mayor impacto físico que se produce, es la reducción de la porosidad, lo que implica una menor disponibilidad tanto de aire como de agua para las raíces de las plantas. Al mismo tiempo, las raíces tienen más dificultad en penetrar en el suelo y un acceso reducido a los nutrientes. La actividad biológica queda de esta forma,

sustancialmente disminuida. Otro efecto de la compactación es el aumento de la escorrentía, disminuye la capacidad de filtración del agua de lluvia. Esto incrementa el riesgo de erosión producida por el agua y la pérdida de las capas superficiales de suelo y la consiguiente pérdida de nutrientes.

Existen cálculos estimativos sobre la pérdida de productividad de las cosechas debido a este fenómeno que en el caso de la compactación de la superficie de suelo alcanza valores de hasta el 13% mientras que la compactación del subsuelo puede ocasionar pérdidas de entre un 5-35%.

La germinación se inicia con la entrada de agua en la semilla (imbibición) y finaliza con el comienzo de la elongación de la radícula. En condiciones de laboratorio, la posterior rotura de las cubiertas seminales por la radícula es el hecho que se utiliza para considerar que la germinación ha tenido lugar (criterio fisiológico) (ver: Figura1). Sin embargo en condiciones de campo no se considera que la germinación ha finalizado hasta que se produce la emergencia y desarrollo de una plántula normal (criterio Agronómico) (ver Figura2). (Pita Villamil & Pérez Garcia Félix, 1998)



*Figura 1. La aparición de la radícula es el hecho que, en condiciones de laboratorio, indica que la germinación de la semilla ha tenido su lugar.
Fuente: (Pita Villamil & Pérez Garcia Félix, 1998)*



Figura 2. Desde un punto de vista agronómico no se considera que la semilla ha germinado hasta que tiene lugar la emergencia y establecimiento de la plántula.

Fuente: (Pita Villamil & Pérez García Félix, 1998)

El ajonjolí es una planta de tipo anual, con un ciclo de vida relativamente corto que tiende a comprenderse entre ochenta y ciento treinta días. Por ser una planta con excelente adaptabilidad, el cultivo del ajonjolí es posible en varios climas. Las condiciones ideales serán en zonas con temperaturas altas, con suficientes lluvias durante la etapa de crecimiento y de floración, y donde sea abundante la luminosidad. (Ajonjolí, 2018)

El guandú es una de las leguminosas de mayor resistencia a la sequía, aunque necesita buena humedad durante los dos primeros meses. Se adapta bien tanto en zonas con altas temperaturas y climas secos como en zonas con condiciones ecológicas subhúmedas. Crece bien desde el nivel del mar hasta los 1.000 msnm. Sobrevive hasta en los suelos más pobres, bajos en nutrimentos debido a su rusticidad. Produce muy bien en suelos drenados, de topografía ondulada ya que su crecimiento se afecta en suelos anegados.

La densidad de siembra está muy relacionada con la variedad a utilizar, la altura sobre el nivel del mar y sobre todo con la época de siembra. Se recomienda la siembra en lomillos, a una distancia de 80 cm entre surcos y 10 cm entre plantas. Posee una amplia adaptación a diferentes suelos que van desde arenosos hasta

arcillosos pesados y pedregosos. Además, los suelos pueden ser desde llanos a inclinados, porque se puede cultivar en terrenos con grado dependiente que van desde 0.003 a 30%. (GUANDUL, 2012)

El suelo que utilizamos para la agricultura es una capa delgada que descansa sobre una base de rocas. Esta capa necesitó muchos siglos para formarse, pero puede ser destruida en pocos años si no se la usa con cuidado. Los suelos que se originan a partir de la roca madre crecen un centímetro en un período que puede durar varios cientos de años. Sin embargo, los terrenos pueden degradarse con rapidez, volviéndose estériles. Además, sólo el 12% de la superficie de la tierra es fácilmente cultivable. Son más abundantes las zonas difíciles de trabajar. Los obstáculos posibles son varios: sequía por falta de lluvia, temperaturas muy bajas, suelos no fértiles por carencia de nutrientes minerales o por contener exceso de sal, terrenos siempre cubiertos de nieve o hielo o con pendiente muy acentuada. La FAO (1996) Varios peligros amenazan el suelo: la pérdida de fertilidad, la contaminación y la desaparición del suelo mismo debido a la erosión. Muchas veces la pérdida de fertilidad o la contaminación acaban con la vegetación y el suelo desprotegido se erosiona rápidamente. Así, estos efectos se producen en la misma zona, uno después de otro. La pérdida de fertilidad y la contaminación se deben a cambios en la composición del suelo. Sabemos que para crecer la vegetación necesita nutrientes de los que se alimenta. Y que existen sustancias que son tóxicas para las plantas, que actúan como verdaderos venenos.

- Las plantas absorben por las raíces determinados elementos, imprescindibles para su desarrollo, especialmente nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio y calcio. Estos minerales se reducen con los cultivos. Si no son reemplazados con el agregado de abono y materia orgánica, la fertilidad del suelo disminuye hasta agotarse.
- La contaminación es otra forma de deterioro del suelo debida a sustancias químicas dañinas para la vegetación, los animales o para la salud humana. Puede estar causada por el agua de riego contaminada por letrinas y pozos

negros o por desechos mineros o industriales. También contaminan ciertos insecticidas y herbicidas, que destruyen especies no nocivas e incluso perjudican la salud de las personas.

Se llama erosión al desgaste, arrastre y pérdida de partículas de suelo. Se produce por acción del agua y del viento sobre zonas no protegidas:

Las gotas de lluvia caen con fuerza sobre el suelo deshaciendo progresivamente su estructura. El agua, al escurrirse, quita partículas y nutrientes al suelo y los transporta a las zonas bajas. Los arroyos y ríos arrancan la tierra de las riberas. El material arrastrado se sedimenta y rellena cauces y embalses, aumentando la probabilidad de inundaciones.

El viento también arrastra partículas de tierra fértil, especialmente cuando está recién removida o en los períodos de sequía, produciendo en algunos lugares verdaderas tormentas de polvo. (FAO, 1996)

El suelo se mantiene debido a la capa de vegetación que lo cubre. Las hojas atenúan el impacto de la lluvia, del calor del sol y de los vientos fuertes sobre el suelo y las raíces ayudan a sostenerlo. El follaje que cae forma una capa de protección, y contribuye a la formación del humus.

Al disminuir la vegetación, disminuye el aporte de materia orgánica y la densidad de las raíces que ayudan a sujetar el suelo. Desciende la actividad de los microorganismos y el suelo pierde fertilidad. Asimismo, pierde porosidad y estructura, haciéndose más erosionable.

El área degradada por erosión en Colombia es de 45.377.070 ha (40% de la superficie continental de Colombia), de las cuales el 20% se encuentran en un grado de erosión ligera, el 17% en grado de erosión moderada y el 3% en grado de erosión severa y muy severa (IDEAM, 2016). Los departamentos que presentan las mayores áreas erosionadas en grado severo y muy severo son La Guajira, Magdalena, Cesar, Santander y Meta. (SIAC, s.f.)

4.3. MARCO CONCEPTUAL

Conservación: Es el mantenimiento o el cuidado que se le da a algo con la clara misión de mantener, de modo satisfactorio, e intactas, sus cualidades, formas, entre otros aspectos. En tanto, este concepto dispone de un uso habitual en ámbitos como el medio ambiente, la biología, y la industria alimentaria

Gestión medioambiental: Conjunto de actividades, medios y técnicas tendentes a conservar los elementos de los ecosistemas y las relaciones ecológicas entre ellos, en especial cuando se producen alteraciones por el impacto del hombre.

Monocultivo: Se refiere al cultivo especializado de una planta en una explotación agrícola (generalmente plantaciones grandes) y la siembra del mismo cultivo año tras año, sin rotación de cultivos ni períodos de barbecho.

Plantación: Es un término que se utiliza para designar a todo aquel espacio natural que ha sido modificado por el ser humano para sembrar y cosechar un tipo particular de vegetación. (Bembibre, 2012)

Suelo: El suelo es la parte superficial de la corteza terrestre entre la roca y la atmósfera que está dotada de una gran complejidad, tanto estructural como funcional. Esto es debido a las mutuas relaciones que se mantienen entre la biocenosis edáfica (seres vivos en el interior del suelo) y el sustrato físico y químico donde se desarrolla. El suelo actúa como aceptor y proveedor de agua y nutrientes para las raíces, como espacio vital para una gran comunidad de organismos y animales, como depurador del medio natural y como fuente de materiales para la construcción. Asimismo, el suelo es un componente básico del ecosistema, que al tiempo condiciona su evolución. (fuente, s.f.)

Suelos degradados: se define como un cambio en la salud del suelo resultando en una disminución de la capacidad del ecosistema para producir bienes o prestar servicios para sus beneficiarios.

Recuperación: es la acción y efecto de recuperar o recuperarse (volver en sí o a un estado de normalidad, volver a tomar lo que antes se tenía, compensar).

Viabilidad: es la cualidad de viable (que tiene probabilidades de llevarse a cabo o de concretarse gracias a sus circunstancias o características). El concepto también hace referencia a la condición del camino donde se puede transitar.

4.4. MARCO CONTEXTUAL

La Granja piloto-UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR está ubicada a 15 km de la salida de Valledupar- vía al corregimiento de Valencia de Jesús. Adyacente a la vereda El Cielo (Ver: Figura3), jurisdicción del corregimiento de Valencia de Jesús, en el municipio de Valledupar, Cesar, Colombia. En esta vereda residen alrededor de 200 familias las cuales tienen incidencias con la granja piloto. Se puede llegar por transporte vehicular a unos 15 minutos aproximadamente desde la ciudad de Valledupar.



Figura 3. Vereda El Cielo
Fuente: Google Earth, 2019

Los bosques tropicales secos crecen en zonas en las que las temporadas de lluvia se alternan con las temporadas secas. En casi todos los lugares, un periodo prolongado de sequía sigue a un periodo de lluvias.

- **Factores abióticos:** cálido todo el año; temporadas alternas húmedas y secas; suelos ricos en nutrientes sujetos a la erosión.
- **Factores bióticos:** Vida Vegetal: las adaptaciones para sobrevivir la temporada seca incluyen la pérdida estacional de las hojas. Las plantas que pierden sus hojas durante una temporada específica se llaman caducas. Algunas plantas también tienen una gruesa capa cerosa adicional en sus hojas para reducir la pérdida de agua o almacenar agua en sus tejidos.
- **Vida animal:** muchos animales reducen su necesidad de agua al entrar en un largo periodo de inactividad llamado estivación. La estivación es semejante a la hibernación, pero por lo original se lleva a cabo durante temporadas secas. Otros animales, incluyendo muchas aves y primates se mudan, a aéreas donde hay agua disponible durante la temporada.

La vereda el cielo según el IDEAM Presenta un ecosistema de Bosque Seco Tropical La temperatura es mayor de 25 °C y sus promedios anuales de precipitación varían entre 800 y 1500 mm, con alturas que oscilan entre los 160 y 180 m.s.n.m. (IDEAM, 2016)

4.4.1. Recorrido

Se Planteó una visita al área de trabajo, donde comprende un recorrido de 13 km en carretera vial desde la salida de Valledupar- vía al corregimiento de Valencia de Jesús, en vía nos encontraremos con la indicación (Ver: Figura4) para acceder al tramo vía a la vereda al cielo, este tramo comprende una distancia aproximada de 2 km y se encuentra en condiciones severas debido a que no está pavimentado.



*Figura 4. Señal del camino Vereda El Cielo.
Fuente: Autores (2019)*

4.5. MARCO LEGAL

Normatividad general la constitución política de Colombia de 1991 elevó a norma constitucional la consideración, manejo y conservación de los recursos naturales y el medio ambiente, a través de los siguientes principios fundamentales:

Derecho a un ambiente sano: en su artículo 79, la constitución nacional (CN) consagra que: “todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo. Es deber del estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines”.

Esta norma constitucional puede interpretarse de manera solidaria con el principio fundamental del derecho a la vida, ya que éste sólo se podría garantizar bajo condiciones en las cuales la vida pueda disfrutarse con calidad. Artículos: 7, 8, 49, 58, 63, 79, 80, 88,95 y 330.

Tabla 2. Normatividad correspondiente

Componente	Especificaciones	Legislación	Descripción
Recursos Naturales	Conservación del recurso	Ley 23 de 1973	Tiene como prioridad la prevención y control de la contaminación del medio ambiente, mejoramiento, conservación y restauración de los recursos naturales; determinando también como bienes contaminables el aire, el agua y el suelo.
		Decreto ley 2811 de 1974	Código nacional de los recursos naturales renovables y de protección del medio ambiente.

		Decreto 1449 de 1977	Disposiciones sobre conservación y protección de aguas, bosques, fauna terrestre y acuática
		Ley 09 de 1979	Código sanitario nacional
		Decreto 1974 de 1989	Por el cual se reglamenta el artículo 310 del Decreto - Ley 2811 de 1974, sobre Distritos de Manejo Integrado de los Recursos Naturales Renovables y la Ley 23 de 1973.
Suelos	Usos del suelo y ordenamiento del territorio	Decreto 843 de 1979	Se dictan disposiciones para el control de la industria y comercio de los bonos o fertilizantes, enmiendas, acondicionadores del suelo, alimentos para animales, plaguicidas de uso agrícola, defoliantes, reguladores fisiológicos de las plantas, drogas y productos biológicos de uso veterinario.
		Decreto 1843 de 1991	Reglamenta el uso y adecuado manejo de plaguicidas a nivel nacional, incluyendo aproximaciones sobre parámetros técnicos y niveles de toxicidad.
		Ley 99 de 1993	Se establecen regulaciones ambientales en torno a actividades agropecuarias como el uso de agroquímicos, especialmente lo referente a la importación, distribución, producción y comercialización de pesticidas, acogiéndose a convenios internacionales, como la decisión andina 436 del acuerdo de Cartagena y sus normas reglamentarias.

		Ley 388 de 1997	Da a los municipios los mecanismos para promover el ordenamiento territorial, el uso del suelo, la preservación y defensa de su patrimonio ecológico y cultural localizado en su ámbito territorial, así como armonizar y actualizar las disposiciones contenidas en la ley 9 de 1989, con las nuevas normas establecidas en la constitución política, la ley orgánica del plan de desarrollo, la ley orgánica de áreas metropolitanas.
		Ley 507 de 1999.	Modificación Ley 388 de 1997 sobre formulación y adopción de los planes y esquemas de ordenamiento territorial (POT)
		Decreto 1076 2015	Por medio del cual se expide el Decreto Único, esta versión incorpora las modificaciones introducidas al Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible a partir de la fecha de su expedición.
	Normatividad sobre flora silvestre y bosques	Ley 2 de 1959	Reserva forestal y protección de suelos y agua
		Ley 299 de 1995	Por la cual se protege la flora Colombiana.

Fuente: Adaptado de la normativa ambiental colombiana, 2019

4.6. MARCO INSTITUCIONAL

4.6.1. Misión

La Universidad Popular del Cesar, como institución de educación superior oficial del orden nacional, forma personas responsables social y culturalmente; con una educación de calidad, integral e inclusiva, rigor científico y tecnológico; mediante las

diferentes modalidades y metodologías de educación, a través de programas pertinentes al contexto, dentro de la diversidad de campos disciplinares, en un marco de libertad de pensamiento; que consolide la construcción de saberes, para contribuir a la solución de problemas y conflictos, en un ambiente sostenible, con visibilidad nacional e internacional.

4.6.2. Visión

En el año 2025, la Universidad Popular del Cesar será una Institución de Educación Superior de alta calidad, incluyente y transformadora; comprometida en el desarrollo sustentable de la Región, con visibilidad nacional y alcance internacional.

4.6.3. Objetivos

- Formar y cualificar profesionales de las ciencias y de la educación, comprometidos con los cambios sociales que se requieren para elevar el nivel de desarrollo humano de la región.
- Desarrollar innovaciones pedagógicas para incrementar el nivel de desempeño de los docentes de la región y por ende mejorar la calidad educativa.
- Fomentar el conocimiento de la ciencia para posibilitar la implementación de nuevas tecnologías que lleven a mejorar la productividad en un mercado de desarrollo sostenible.
- Promover el desarrollo, conocimiento y divulgación de la cultura local, regional y nacional, como medio para lograr identidad en el contexto nacional e internacional.
- Promover la formación y arraigo de valores humanos como el respeto a la vida, a las diferencias, a la multiculturalidad, la conciencia de soberanía, el sentido ético y la defensa del medio ambiente.

5. MARCO METODOLÓGICO

5.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación es de carácter **descriptivo y experimental**.

5.2. LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

El proyecto se enmarca en la línea de Sostenibilidad y gestión ambiental del programa de Ingeniería ambiental y Sanitaria de la Universidad Popular del Cesar.

5.2.1. Sub línea de investigación

Este trabajo se relaciona con la Sub línea de investigación denominada Recurso suelo

5.3. POBLACIÓN

La población beneficiada en este trabajo se identifica como las áreas de suelo a la cual se le aplica el tratamiento, así aportando a su restauración, EL Pilon en el 2018 publicó que el Director del IDEAM Omar Franco, presentó los resultados del primer Mapa Nacional de Suelos Degradados por la Salinización y según este estudio la región Caribe es la más afectada por la salinización, que es un fenómeno relacionado con las actividades agropecuarias incorrectas, el turismo arrasador y el impacto del clima seco. (El Pilon, 2018)

Esa noticia no es tan nueva, porque desde hace varios años se viene hablando de la desertificación de los suelos y sus efectos. Lo que sí es nuevo y a lo que hay que prestarle atención es que, de las más de 14 millones de hectáreas afectadas por este fenómeno en Colombia, algo así como el 12,3 % de todo el país, el Estudio Nacional de la Degradación de Suelos por Erosión en Colombia, que aseguraba que en Colombia el 40 % de los suelos del área continental e insular está afectado por

algún grado de erosión y el 2,9 % presenta erosión severa y muy severa. En este último caso, las funciones originales de los suelos como la fertilidad, la regulación y almacenamiento de agua, la biodiversidad, fueron destruidas completamente, teniendo en cuenta que la erosión es una expresión de la degradación física de los suelos, que se traduce en la pérdida de superficie de tierra, llegando en casos extremos a la desertificación.

Por desalinización o por erosión, los suelos del Cesar están sufriendo y están degradándose de la peor forma, poniendo en riesgo la seguridad alimentaria. Incluso, los estudios del IDEAM muestran a un departamento del Cesar con los suelos con más degradación por erosión: el 81,9 % de los suelos del departamento y de ese porcentaje, 0,27 % es degradación muy severa y 11,6 % severa.

5.4. MUESTRA

Las muestras se toman en el área afectada por Monocultivo, se efectúa bajo la guía del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) donde indica que debemos separar aquellas áreas con características similares, con base en los siguientes criterios:

- Grado de pendiente
- Grado de erosión
- Tipo de vegetación
- Manejo previo

Luego el muestreo puede hacerse con una pala o palín y un balde limpio y procurando tomar una cantidad similar de suelo en cada punto y a la misma profundidad.

El tipo de muestreo más adecuado y sencillo para su aplicación es en zigzag. En este método se toman unas 15 ó 20 submuestras a lo largo y ancho del terreno que luego se mezclan en el balde. Para la toma de muestras con pala, abra un hoyo de aproximadamente 25 x 25 cm de lado y 20 cm de profundidad, retire los 2 cm

primeros del suelo y extraiga la muestra. En general la profundidad de muestreo está entre 2 y 20 cm que es el área de acción de las raíces.

Mezcle en un balde las submuestras hasta obtener una muestra compuesta homogénea. Se empaca aproximadamente 1 kg en bolsas plásticas o de papel encerado que no hayan sido usadas antes. No usar bolsas o empaques que contengan fertilizantes u otras sustancias químicas (herbicidas, pesticidas, enmiendas, etc.).

El rótulo de identificación no debe estar en contacto directo con el suelo a analizar. Los parámetros Físicoquímicos iniciales que vamos a analizar en la muestra nos permiten hacer una caracterización básica y además la cantidad de elementos menores (Cu, Mn, Zn, Fe) que nos permiten verificar la calidad del suelo antes de aplicarle los respectivos tratamientos.

Tabla 3. Parámetros Físicos y Químicos que permiten hacer una caracterización básica del suelo

Físicos	Químicos
Granulometría	<p>pH</p> <p>Carbonato de Calcio Cuantitativo</p> <p>Carbono Orgánico</p> <p>Carbono Total</p> <p>Nitrógeno total</p> <p>Fosforo Disponibles</p> <p>Potasio</p> <p>Capacidad de intercambio catiónico</p> <p>Ca, Mg, Na.</p> <p>Saturación de bases</p> <p>Elementos menores (Mn, Fe, Zn, Cu, B)</p> <p>Azufre Disponible</p> <p>Relaciones Catiónicas.</p>

Fuente: Autores (2019)

5.5. DELIMITACIÓN DEL PROYECTO

En este delimitaremos por parcelas que se diseñaron de $16 \text{ m}^2/\text{Parcela}$ la cual emplearemos de manera conjunta como lo muestra la imagen (Ver: Figura5).

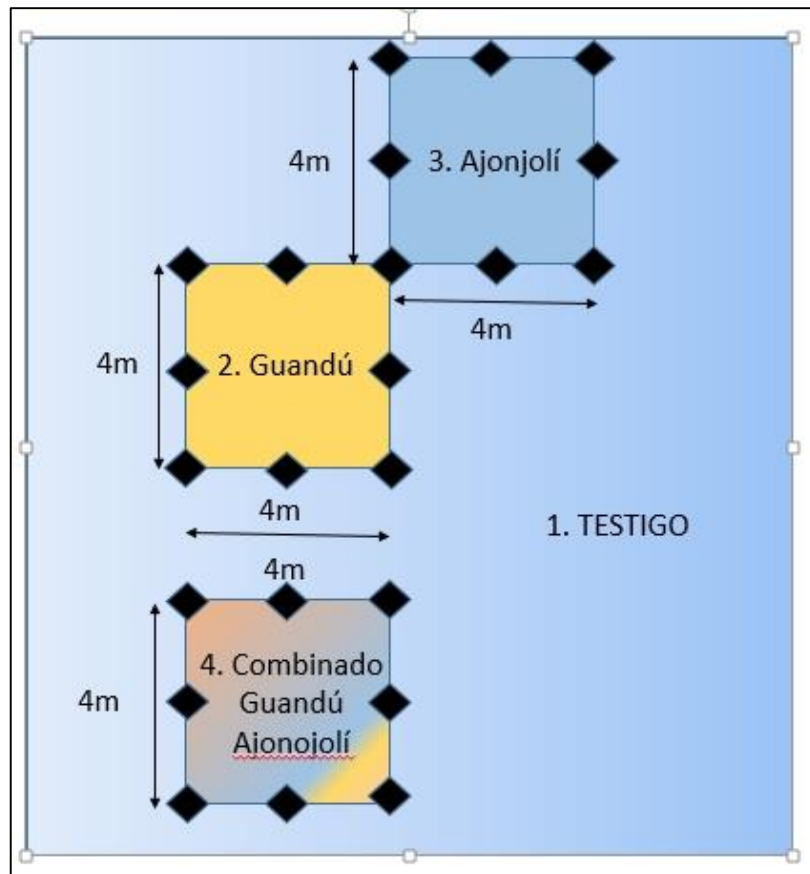


Figura 5. Diseño de siembra, Parcelas
Fuente: Autores (2019)

Como se muestra en la figura se encierran 4 parcelas de 4m x 4m donde:

- Parcela N°1: Esta se tomará como testigo, no se le aplica el tratamiento para comparar los resultados (La muestra de esta parcela se encuentra fuera del área delimitada de las otras parcelas).
- Parcela N°2: Esta se le aplica la siembra de Guandú y se evalúa el beneficio que este genera, comparando los resultados.

- Parcela N°3: Esta se le aplica la siembra de Ajonjolí y se evalúa el beneficio que este genera, comparando los resultados.
- Parcela N°4: Esta se le aplica las 2 siembras antes mencionadas y se evalúa el beneficio que este genera para comparar los resultados.

5.6. DESARROLLO DE LAS FASES METODOLÓGICAS

5.6.1. Fase 1: Caracterizar los parámetros Fisicoquímicos, de las muestras tomadas del área afectada por monocultivo en la granja piloto-Universidad Popular Del Cesar.

Se determinará el terreno a tratar con la plantación de nuestras especies y se caracterizará pre cultivo, donde obtendremos nuestros análisis Fisicoquímicos iniciales, para que estos sean comparados con los resultados de nuestro trabajo y así evaluar el porcentaje de restauración. Se determina la ubicación de los suelos degradados por monocultivo.

- 1- Se hacen las respectivas mediciones y se delimita el lugar encercando para la protección de algunos daños que se puedan presentar por la presencia de animales del sector como el caprino y vacuno.
- 2- Se recolectan las muestras en cada parcela, para realizar los respectivos análisis fisicoquímicos.

5.6.2. Fase 2: Implementar las especies guandú (*cajanus cajan*) y ajonjolí (*sesamum alatum*) en el área afectada por Monocultivo de algodón en la granja piloto- Universidad Popular Del Cesar

Se adquieren las semillas ya sea por donación o compra, se realiza la respectiva siembra para empezar con el tratamiento para restaurar las antes seleccionadas áreas de suelo de la granja piloto, esto teniendo en cuenta los diversos cuidados que debe tener cada especie y suministrando el agua requerida para el desarrollo

de la planta. Esta Fase se considera la más larga e importante porque se deben llevar a cabo los respectivos cuidados con cada una de las plantas suministrando la requerida agua y los diversos cuidados que estas plantas requieran.

5.6.3. Fase 3: Evaluar el porcentaje de restauración donde plantamos las especies seleccionadas.

Por último y no menos importante se deben recolectar las respectivas muestras para luego analizarlas y evaluar el porcentaje de restauración que obtuvo el área seleccionada para el tratamiento.

- 1- Se recolectan las muestras en cada tratamiento aplicado en cada parcela
- 2- Se caracterizan las muestras con los parámetros Físicoquímicos del suelo
- 3- Se evalúa el porcentaje de restauración efectuado en las áreas degradadas.

6. RESULTADOS Y ANÁLISIS

6.1. CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio se estableció en el municipio de Valledupar del departamento del Cesar, específicamente en la Granja piloto de la UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR ubicada en la vereda El Cielo, jurisdicción del corregimiento de Valencia de Jesús a 15 km de la salida de la ciudad. Las coordenadas de la ubicación georreferencial de la Granja Experimental de la Universidad Popular del Cesar son las siguientes: 10°20'07.6" Latitud Norte 73°19'46.5" Longitud Oeste; con un área aproximada de 1,5Ha.

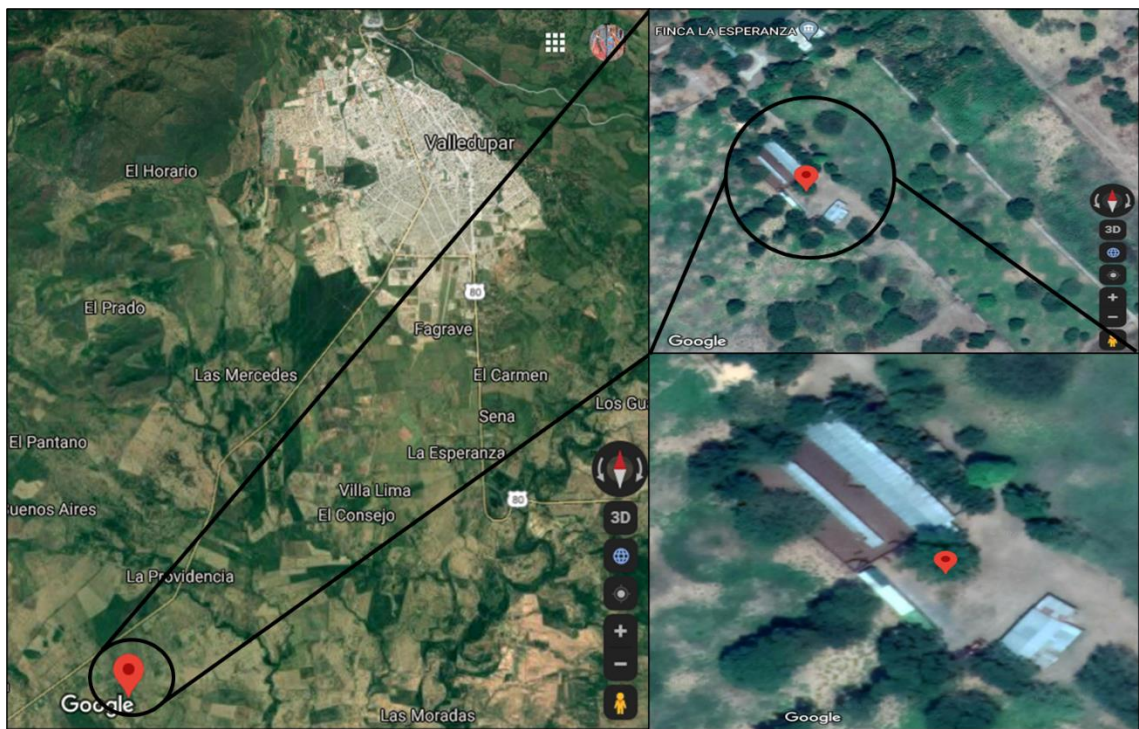


Figura 6. Granja experimental de la Universidad Popular del Cesar, vereda El Cielo
Fuente: Google Maps modificada por autores del proyecto, 2020

Siguiendo con la metodología propuesta en el **ítem 0** de la **FASE I** de la presente investigación; se procedió a caracterizar y a delimitar la zona de estudio en donde se extrajo las muestras de suelos para ser analizadas:

6.2. FASE I: CARACTERIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DE LAS MUESTRAS TOMADAS DEL ÁREA AFECTADA POR MONOCULTIVO EN LA GRANJA PILOTO-UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR.

6.2.2. Selección de la zona de muestreo del suelo

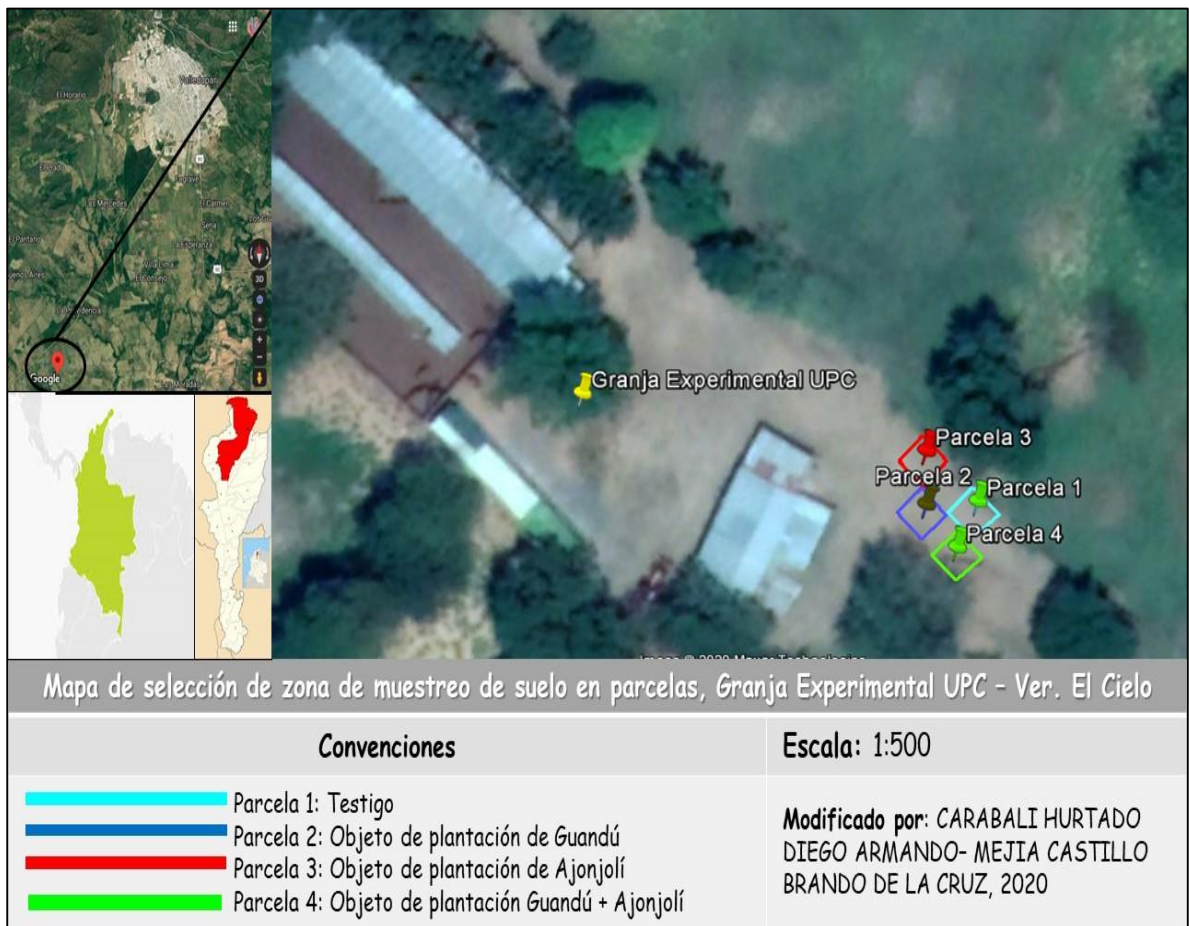
La selección de la zona de muestreo del suelo dentro de la Granja Experimental de la Universidad Popular del Cesar se basó en la metodología propuesta por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) para la toma de muestra del suelo; para ello se tomaron como criterio lo siguiente:

- **Grado de pendiente:** se presentó un grado de pendiente entre el 10 – 30% respectivamente, se considera como una zona casi planicie con pocas elevaciones.
- **Grado de erosión:** el grado de erosión de la zona es muy alto, debido a que en toda su planicie el suelo se encuentra descubierta al medio natural sin ninguna o poca capa vegetal que los retenga, en donde son sujetas a acciones erosivas por efecto del viento y de alta precipitaciones.
- **Tipo de vegetación:** El tipo de vegetación predominante de la zona de muestreo es de bosque seco tropical según la información mostradas por el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt para la región Caribe y del departamento del Cesar.
- **Manejo previo:** el manejo previo característico de la zona fue de actividades relacionadas al monocultivo que deterioraron el suelo por la intensidad de su uso en los últimos años.

La ubicación georreferencial de la zona de muestreo del suelo se especifica en el siguiente ítem:

6.2.3. Delimitación de área de estudio.

Después de haber seleccionado la zona de muestreo dentro de la granja experimental de la Universidad Popular del Cesar, se diseñaron 4 parcelas cuadráticas de $16m^2$ cada una de ellas ubicadas de manera estratégica en donde se demarcó en cada una el tipo de especie a sembrar dentro de cada área en parcelada según las condiciones estipuladas en el **ítem 5.5** de la metodología; como se presenta en el siguiente mapa:



Mapa 1. Mapa de selección de parcelas a realizar el muestreo y la siembra de las especies, Granja Experimental UPC – Vereda El Cielo

Fuente: Google Earth; modificado por autores del proyecto, 2020

Además, se presenta las coordenadas de cada parcela a continuación:

Tabla 4. Posición georreferencial de las parcelas objetas de estudio, Granja Experimental UPC – Vereda El Cielo

PARCELAS	Característica	POSICIÓN	
		NORTE	OESTE
1	Testigo	10°20'6.97"	73°19'45.02"
2	Objeto de plantación Guandú	10°20'6.99"	73°19'45.22"
3	Objeto de plantación Ajonjolí	10°20'7.18"	73°19'45.19"
4	Objeto de plantación Guandú + Ajonjolí	10°20'6.82"	73°19'45.13"

Fuente: Autores del proyecto, 2020

6.3. TOMA DE MUESTRA

Al momento de escoger y en parcelar la zona con las condiciones estipuladas en la granja experimental de la Universidad Popular del Cesar; se procede a tomar la muestra de suelo siguiendo la metodología propuesta en el ítem 5 en lo que se definió lo siguiente:

- a. Se seleccionó la parcela 1 testigo para extraer la muestra de suelo según la metodología propuesta.
- b. Se extrajo 1kg de suelo de la parcela mencionada.
- c. Se tomó en total una (1) muestra del peso estipulado en la parcela mencionada.

- d. La muestra tomada fue rotulada con: Nombre del muestreador, Lugar del muestreo, tipo de muestra, fecha del muestreo, características físico químicas a determinar; esta información se presentó en la siguiente tabla

Tabla 5. Rotulo de muestra extraída

Nombre muestreador:	Diego Armando Carabalí Hurtado
Lugar de muestreo:	Granja piloto – Vereda El Cielo
Tipo de muestra:	Suelo
Fecha del muestreo:	10 de octubre de 2019
Características a analizar	Física: Granulometría
	Química: pH Carbonato de Calcio Cuantitativo Carbono Orgánico Carbono Total Nitrógeno total Fosforo Disponibles Potasio Capacidad de intercambio catiónico Ca, Mg, Na. Saturación de bases Elementos menores (Mn, Fe, Zn, Cu, B) Azufre Disponible Relaciones Catiónicas.

Fuente: Autores del proyecto, 2020

- e. La muestra extraída fue llevada a la sede territorial de las oficinas del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) del Cesar bajo una cadena de custodia

referida para el análisis de suelo, en donde éste fue enviada a la ciudad de Bogotá para su respectivo análisis y resultados de la medición.

6.4. RESULTADOS DE LOS PARÁMETROS FÍSICO QUÍMICOS DEL SUELO TOMADA DE LA PARCELA EN LA GRANJA EXPERIMENTAL UPC – EL CIELO

El resultado de los parámetros físico químicos del suelo, se presenta a través de tablas de comparación con los valores normales necesarios para el suelo según estudios y libros realizados por diferentes autores e instituciones publica; los resultados fueron:

Tabla 6. Resultados de pruebas físicas

GRANULOMETRÍA			CLASE TEXTURA	GRAVILLA %	pH	ACIDEZ INTERCAMBIABLE	S.A.I %	CARBONATO DE CALCIO	CARBONO ORGÁNICO %	CARBONO TOTAL %	NITRÓGENO TOTAL %
AREN A%	LIMO %	ARCIL LA%						Cuantitativ o %			
20	38,3	41,7	Ar	N.A	7,28	N.A	N.A	0,91	1,0271	1,459	0,0968

Fuente: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), 2020

6.4.2. Textura

Teniendo en cuenta los resultados ilustrados en la Tabla 6. Resultados de pruebas físicas Tabla 6, el suelo presenta una textura arcillosa, este tipo de suelo. Según (Fernández, 2014), se denominan suelos “pesados” o fuertes. Presentan baja permeabilidad al agua y elevada retención al agua y de nutrientes. La arcilla es un conjunto de partículas minerales muy pequeñas, de menos de 0,001 mm. de diámetro, en contraposición a otras partículas más grandes como son el limo y la arena, por orden de tamaño, de menor a mayor.

6.4.3. pH

El valor de pH mostrado en la Tabla 6, muestra un valor de 7,28. En términos generales puede considerarse que desde el punto de vista del pH, los suelos se

pueden agrupar en tres grandes categorías: **Suelos ácidos** los que presentan pH < 6.5; **Suelos neutros** los que tienen pH entre 6.5 y 7.3 y **Suelos básicos** aquellos que exhiben valores de pH > 7.3 (Jaramillo, 2002).

Por otro lado, el porcentaje del Carbonato de Calcio presente en la muestra de suelo es del 0,91%. Este porcentaje, refleja un valor muy bajo, por debajo del 5% del contenido de carbonato de calcio, el cual clasifica como un porcentaje *muy bajo*, tal y como se describe en la siguiente tabla.

Tabla 7. Interpretación de los niveles de Carbonato de calcio en el suelo

% de Carbonatos	Clasificación
<5	Muy bajo
5-10	Bajo
10-20	Normal
20-40	Alto
>40	Muy alto

Fuente: (Andrades & Martínez, 2014)

El carbonato de calcio es la principal fuente de calcio de los suelos, encontrándose en dimensiones variables, desde guijarros hasta en forma de polvo muy fino (Andrades & Martínez, 2014).

Cuando falta el carbonato de calcio en el suelo nos encontramos normalmente con suelos ácidos, aunque también puede darse su falta en tierras básicas. En este último caso tendremos que aportar sulfato cálcico (yeso), de manera que aumentemos los niveles de calcio sin elevar el pH.

6.4.4. Carbono orgánico del suelo (COS)

El carbono orgánico del suelo (COS) es el carbono que permanece en el suelo después de la descomposición parcial de cualquier material producido por organismos vivos. Constituye un elemento clave del ciclo global del carbono a través de la atmósfera, vegetación, suelo, ríos y océano (FAO, 2017).

El C orgánico del suelo se encuentra en forma de residuos orgánicos poco alterados de vegetales, animales y microorganismos, en forma de humus y en formas muy condensadas de composición próxima al C elemental (Jackson, 1964).

El valor de carbono orgánico en el suelo, en adelante (COS), presenta un valor de 1,0271% para un suelo de textura arcillosa, se considera que el contenido de COS es *muy pobre*, ya que el valor obtenido es menor a 1,50%, tal y como se muestra en la siguiente gráfica.

DIAGNOSTICO	TIPO DE SUELO		
	ARENOSO <10% ARCILLA	MEDIO 10 – 30% ARCILLA	ARCILLOSO >30% DE ARCILLA
	MATERIA ORGÁNICA %		
Muy Pobre	<1,25%	<1,00	<1,50
Pobre	1,25 – 2,00	1,00 - 1,75	1,50 – 2,50
Normal	2,00 – 3,00	1,75 – 2,50	2,50 – 3,50
Alto	3,00 – 4,00	2,50 – 3,50	3,50 – 4,50
Excesivo	>4,00	>3,50	>4,50

Figura 7. Interpretación del contenido de materia orgánica en función del grupo textural
Fuente: Chavarriga, 2001

6.4.5. Carbono total

Es la totalidad del carbono (orgánico e inorgánico) contenido en una muestra de suelo. Se asocia a la presencia de nutrientes de origen orgánico e inorgánico del suelo.

6.4.6. Nitrógeno total

El contenido de nitrógeno total se calcula dividiendo el contenido de materia orgánica por 20. El nitrógeno disponible asimilable equivale a la fracción mineralizada, es decir, la forma inorgánica, el nitrógeno disponible se calcula multiplicando el contenido de nitrógeno total por su tasa de mineralización. La tasa de mineralización del nitrógeno en el suelo depende del clima, como se muestra en *Figura 9*. En suelos de clima frío con predominio de alófanas en la fracción arcillosa, la mineralización de la materia orgánica puede ser inferior a 0,5% y puede ser mejorada con la aplicación de cal (UNAD, 2013).

Tabla 8. Resultados de pruebas químicas

FOSFORO DISPONIBLE mg/Kg	COMPLEJO DE CAMBIO cmol(+)/Kg							S.B %	ELEMENTOS MENORES DISPONIBLES (mg/Kg)					mg/Kg	
	CIC	CICE	Ca	Mg	K	Na	B.T		Mn (mg/Kg)	Fe	Zn (mg/Kg)	Cu (mg/Kg)	B	S	
55,19	19,67	17,92	12,88	4,41	0,48	0,15	17,92	91,1	28,83	12,59	1,8	2,68	0,12	9,13	

Fuente: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), 2020

6.4.7. Fósforo disponible

Según (Andrades & Martínez, 2014) un contenido adecuado de fósforo en el suelo es de gran importancia para el desarrollo de las plantas, por intervenir en funciones fundamentales, como son:

- Favorecer el desarrollo de las raíces.
- Estimular el crecimiento y el desarrollo vigoroso de las plantas.
- Favorecer la floración y la fructificación y con ello, la cantidad y calidad de los frutos y semillas.
- Adelantar la maduración de los frutos.

Según la Tabla 9, el nivel de fosforo en el suelo, es alto. Un exceso de fósforo interacciona negativamente con la mayoría de micro elementos (Fe, Mn, Zn y Cu), en algunas ocasiones debido a la formación de precipitados insolubles y en otras debido a procesos metabólicos en el vegetal que impiden el traslado del elemento nutriente desde la raíz al resto de partes de la planta como por ejemplo sucede con la interacción P/Zn.

Tabla 9. Interpretación de los niveles de Fósforo en el suelo

Niveles de P (Olsen) al suelo, en ppm	Interpretación
<12	Bajo
12-24	Medio
24-36	Óptimo
36-80	Alto
>80	Muy alto

Fuente: Villar & Villar, 2016

6.4.8. Complejo de cambio

Los cationes retenidos por el suelo pueden ser reemplazados por otros cationes. Esto significa que son intercambiables. Por ejemplo, el Ca^{++} puede ser intercambiado por H^+ y/o K^+ y viceversa. Los cationes utilizables por la planta se encuentran en la solución del suelo o retenidos en la fracción mineral.

El complejo arcilla-materia orgánica es la despensa de los elementos nutritivos para las plantas. El número total de cationes intercambiables que un suelo puede retener (la cantidad permitida por su carga negativa) se denomina capacidad de intercambio catiónico o CIC. Mientras mayor sea la CIC más cationes puede retener el suelo. Los suelos difieren en su capacidad de retener cationes intercambiables. La CIC depende de la cantidad y tipo de arcillas y del contenido de materia orgánica presentes en el suelo. Un suelo que tiene alto contenido de arcillas puede retener más cationes intercambiables que un suelo con bajo contenido de arcillas. La CIC se incrementa también a medida que la materia orgánica se incrementa (UNAD, 2013).

RANGO (meq/100g suelo)	INTERPRETACIÓN
- 5	Muy baja
5 - 10	Baja
10 - 20	Media
20 -30	Alta
30	Muy alta

Figura 8. Interpretación de la capacidad de intercambio catiónico de un suelo
Fuente: Chavarriaga, 2001

Los valores de CIC son bajos en los lugares donde los suelos son muy meteorizados y tienen contenidos también bajos de materia orgánica. En los sitios donde el suelo es menos meteorizado, con niveles de materia orgánica a menudo altos, los valores de CIC pueden ser notablemente altos. Los suelos arcillosos con una alta CIC pueden retener una gran cantidad de cationes y prevenir la pérdida potencial por lixiviación (percolación). Los suelos arenosos, con baja CIC retienen cantidades más pequeñas de cationes. Esto hace que la época y las dosis de aplicación sean

importantes consideraciones al planificar un programa de fertilización. Por ejemplo, no es muy aconsejable aplicar K en suelos muy arenosos en medio de la estación lluviosa cuando las precipitaciones pueden ser altas e intensas. Las aplicaciones de K se deben fraccionar (dividir) para prevenir pérdidas de lixiviación y erosión, especialmente en los trópicos húmedos. También es importante el fraccionar las aplicaciones de N para poder reducir notablemente las pérdidas por lixiviación y al mismo tiempo entregar este nutriente a las plantas en las épocas de mayor demanda. Esta práctica debe ser común en suelos arenosos, así como en suelos de textura más fina. Un elemento químico que posee cargas eléctricas se denomina ion. El potasio, sodio (Na), hidrogeno (H), Calcio (Ca) y Magnesio (Mg) tienen carga positiva y se denominan cationes. Se pueden representar en forma iónica como se demuestra en la tabla siguiente. Nótese que algunos cationes poseen más de una carga positiva.

CARACTERÍSTICAS	CATEGORIA		
	BAJA	MEDIA	ALTA
Calcio (meq/100g)	< 3	3 – 6	> 6
Saturación (%)	< 30	30 – 50	> 50
Magnesio (meq/100g)	< 1.5	1.5 – 2.5	> 2.5
Saturación (%)	< 15	15 – 25	> 25
Potasio (meq/100g)	< 0.20	0.20 – 0.40	> 0.40
Saturación (%)	< 2	2 – 3	> 3
Sodio (meq/100g)	< 1		
Saturación (%)	< 15		
Saturación con bases (Ca, Mg, K)	< 35	35 – 50	> 50
Materia orgánica clima frío	< 5	5 – 10	> 10
Materia orgánica clima templado	< 3	3 – 5	> 5
Materia orgánica clima cálido	< 2	2 – 3	> 3
Nitrógeno total (%) clima frío	< 0.25	0.25 – 0.50	> 0.50
Nitrógeno total (%) clima medio	< 0.15	0.15 – 0.25	> 0.25
Nitrógeno total (%) clima cálido	< 0.10	0.10 – 0.20	> 0.20
Fósforo (ppm) según Bray I	< 10	10 – 25	> 25
Fósforo (ppm) según Bray II	< 20	20 - 40	> 40
Fósforo (ppm) según Olsen	< 12	12 - 35	> 35
Azufre (ppm)	< 10	10 – 20	> 20
Boro (ppm)	< 0.20	0.20 – 0.40	> 0.40
Cobre (ppm)	< 1	1 – 3	> 3
Manganeso (ppm)	< 5	5 – 10	> 10
Hierro (ppm)	< 25	25 – 50	> 50
Zinc (ppm)	< 1.5	1.5 – 3.0	> 3.0
Molibdeno (ppm)	0.1		
Capacidad de intercambio catiónico (CIC) (me/100g)	< 10	10 – 20	> 20
Bases totales (me/100g)	< 10	10 – 30	> 30

Figura 9. Niveles críticos para la interpretación de análisis de suelos en Colombia
Fuente: Chavarriaga, 2001

6.5. FASE II. IMPLEMENTACIÓN DE LAS ESPECIES GUANDÚ (CAJANUS CAJAN) Y AJONJOLÍ (SESAMUM ALATUM) EN EL ÁREA AFECTADA POR MONOCULTIVO DE ALGODÓN EN LA GRANJA PILOTO-UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR

Las semillas de las especies guandú (*cajanus cajan*) y ajonjolí (*sesamum alatum*), se adquirieron por compra directa. Una vez obtenidas las semillas, se diseñaron las pilas cuadradas de 4m x 4m, para un área de total de ocupación de 16m². La pila tiene un diseño cuadrado de 400 cm x 400 cm, con una separación desde la cerca,

hasta la primera línea de semillas de 80 cm, a modo de evitar que las especies rumiantes de los alrededores, interrumpieran el crecimiento de las plantas. Se adquieren las semillas ya sea por donación o compra, se realiza la respectiva siembra para empezar con el tratamiento en la restaurar las antes seleccionadas áreas de suelo de la granja piloto, esto teniendo en cuenta los diversos cuidados que debe tener cada especie y suministrando el agua requerida para el desarrollo de la planta.

Esta Fase se considera la más larga e importante porque se deben llevar a cabo los respectivos cuidados con cada una de las plantas suministrando la requerida agua y los diversos cuidados que estas plantas requieran. El diseño de las pilas, se muestran a continuación:

6.5.2. Guandú (*cajanus cajan*)

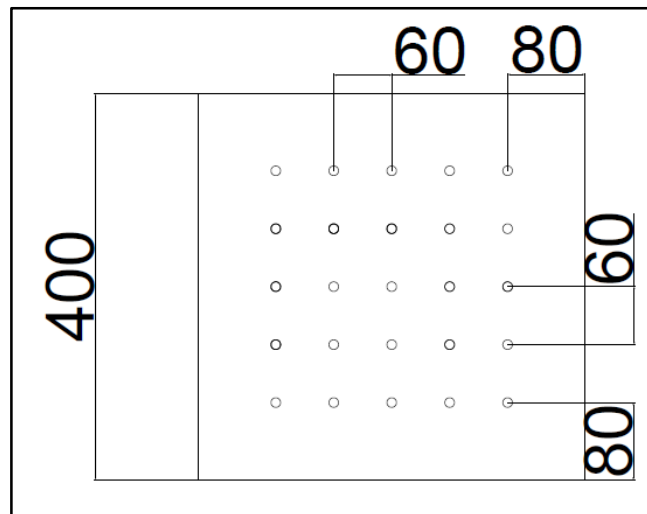


Figura 10. Diseño de la pila de Guandú (*Cajanus cajan*)
Fuente: Autores, 2020

La separación entre cada siembra de semilla de Guandú, es de 60 cm, debido a que esta especie crece un poco más, en comparación a la especie de Ajonjolí.

6.5.3. Ajonjolí (*sesamum alatum*)

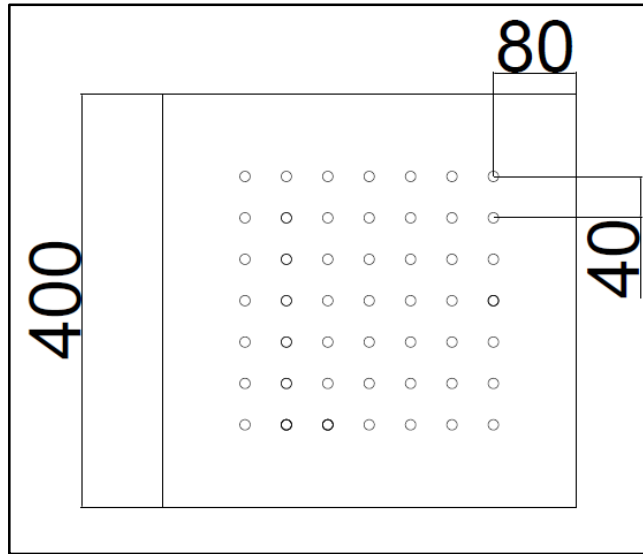


Figura 11. Diseño de la pila de Ajonjolí (*sesamum alatum*)
Fuente: Autores, 2020

La separación entre cada siembra de semilla de Ajonjolí, es de 40 cm, debido a que esta especie crece un poco menos, en comparación a la especie de Guandú

6.5.4. Guandú (*cajanus cajan*) y Ajonjolí (*sesamum alatum*)

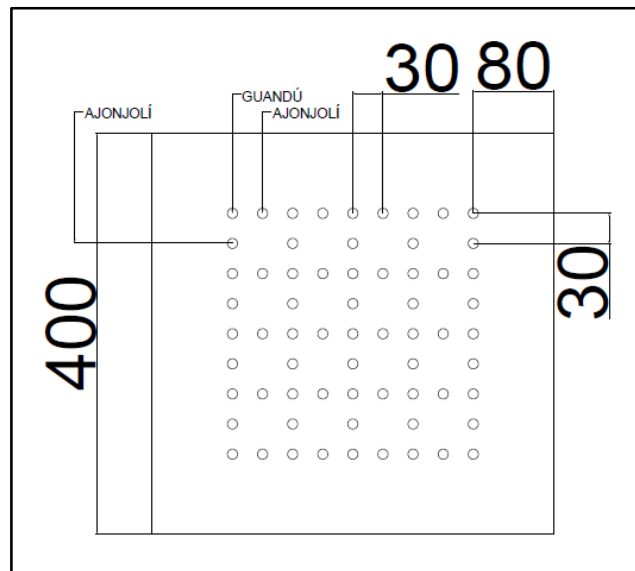


Figura 12. Diseño de pila mixta de Guandú y Ajonjolí
Fuente: Autores, 2020

La separación entre cada siembra de semilla de Ajonjolí y Guandú, es de 30 cm, para un total de 81 siembras entre Ajonjolí y Guandú.

6.6. FASE III. EVALUACIÓN DEL PORCENTAJE DE RESTAURACION DE LAS CARACTERISTICAS DEL SUELO A PARTIR DE LAS ESPECIES SELECCIONADAS

Las plantas de Guandú y Ajonjolí, se cultivaron en la granja experimental de la Universidad Popular del Cesar. La planta de Guandú, durante el proceso de germinación mostro un buen crecimiento, a diferencia de las plantas de Ajonjolí, que presentaron problemas con su germinación a causa de insectos como Isópteros (comején), que inicialmente impedían el crecimiento de estas plantas en el vivero. A causa de esta dificultad, se decidió plantar las semillas de Ajonjolí, directamente en el terreno. A causa de las características de la planta, el crecimiento en el terreno fue difícil. Sin embargo, la planta creció a un ritmo acelerado y estuvo en óptimas condiciones 3 meses después de la plantación de Guandú.

Para evaluar el porcentaje de restauración de las características físico químicas del suelo a partir de las especies estudiadas se realizaron nuevamente otros estudios de los parámetros anteriores de la fase I en el laboratorio IGAC en el que fueron enviadas las muestras; las cuales, se ejecutó el mismo procedimiento de muestreo de suelo estipulado en el *ítem 6.2* del presente proyecto. Para ello se compararon los resultados de los análisis del testigo con relación a los obtenidos por cada especie usada para el proyecto de investigación. La clasificación de las especies usadas para el presente proyecto se demarcó de la siguiente manera *ítem*

- **Tratamiento A:** Parcela Guandú
- **Tratamiento B:** Parcela Ajonjoli
- **Tratamiento AB:** Parcela Ajonjolí-Guandú
- TESTIGO

6.6.1. Características físicas del suelo: textura del suelo

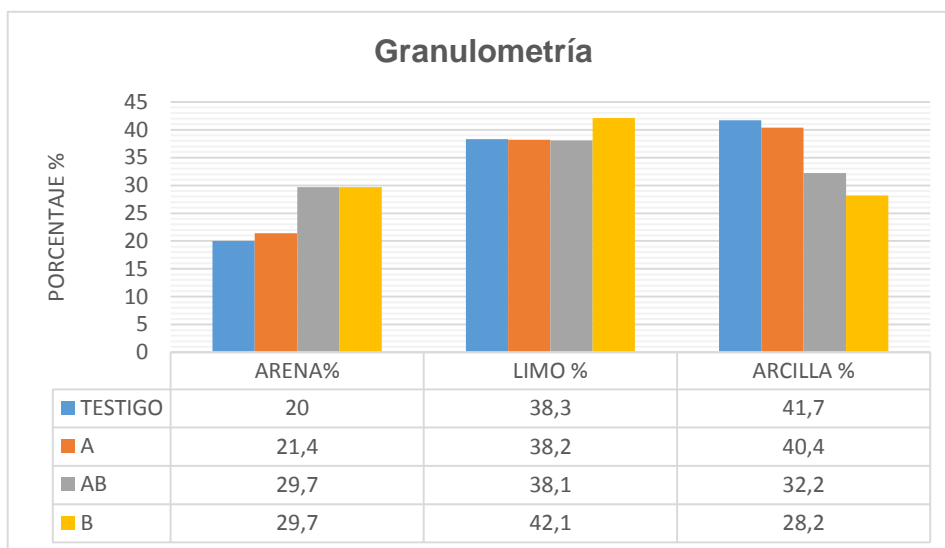
La textura es aquella propiedad que establece las cantidades relativas en que se encuentran las partículas de diámetro menor a 2 mm, es decir, la tierra fina, en el suelo; estas partículas, llamadas separados, se agrupan en tres clases, por tamaños: Arena (A), Limo (L) y Arcilla (Ar). Además, la textura del suelo tiene influencia sobre el movimiento y la disponibilidad de la humedad del suelo, la aireación y la disponibilidad de nutrimentos (Jaramillo, 2002).

Para ello, se tomaron los resultados obtenidos de dicha característica como fueron los porcentajes de arena – arcilla – limo y clase textural de la zona comparando el testigo con las especies estudiadas.

Tabla 10. Resultados de características físicas del suelo – granulometría y clase textural, Granja Experimental de la Universidad Popular del Cesar

TRATAMIENTOS	GRANULOMETRÍA			
	ARENA %	LIMO %	ARCILLA %	CLASE TEXTURAL
TESTIGO	20	38,3	41,7	Arcilloso
A	21,4	38,2	40,4	Arcilloso
AB	29,7	38,1	32,2	Franco Arcilloso
B	29,7	42,1	28,2	Franco Arcilloso

Fuente: Autores del proyecto, 2020



*Gráfica 13. Comparación de %granulometría entre el testigo y especies de plantas – Granja Experimental de la Universidad Popular del Cesar
Fuente: Autores del proyecto, 2020*

Con relación a la tabla y grafica anterior se puede inferir que, en el porcentaje arena aumentó de forma considerable en los tratamientos del 20 al 29,7% respectivamente. Los tratamientos AB y B presentaron los mayores valores, esto pudo haberse generado por su arrastre por efectos de escorrentía y de viento logrando que, este aumentara de forma paulatinamente. Por su parte, el porcentaje limo se mantuvo dentro del valor establecido entre el 38 y el 42% mostrando un pequeño aumento del mismo en el tratamiento B, la posible causa de no variación de esta textura se debió generalmente por su disposición en una capa más baja del suelo estudiado, en donde impidieron que, la acción de escorrentía o del viento fuera afectado su proporción. Por último, el porcentaje arcilla disminuyó de forma considerablemente, mostrando un patrón de disminución de la textura pasando del 41,7% al 28,2%; la razón de este descenso fue por la acción de escorrentía y del viento que, a diferencia del porcentaje arena, la arcilla fue removida de forma paulatina y que, esta se encontraba en la capa más superficial del suelo estudiado.

Ante estas condiciones, en el tratamiento A se mantuvo su clase textural de arcilloso, la cual se caracteriza por ser un suelo fuerte, el cual se caracteriza por

presentar baja permeabilidad y elevada retención de agua y nutrientes (Fernández, 2014). Por su parte, los tratamientos AB y B cambiaron su clase textural pasando de ser Arcilloso como era el testigo a Franco Arcilloso, esto se debió básicamente por la disminución del porcentaje arcilla en estos tratamientos por efectos de escorrentía y viento; esta textura se caracteriza por mantener un porcentaje de equilibrio entre las 3 clases texturales, los cuales provocan que, en estos tratamientos disminuyan la capacidad de retención de agua y nutrientes de la arcilla y aumentar la capacidad de aireación y permeabilidad respectivamente (Fernández, 2014).

6.6.2. Características químicas del suelo

Para ello, se tomaron los resultados obtenidos de dicha característica los siguientes:

6.6.2.1. Potencial de hidrogeno y porcentaje de saturación de bases

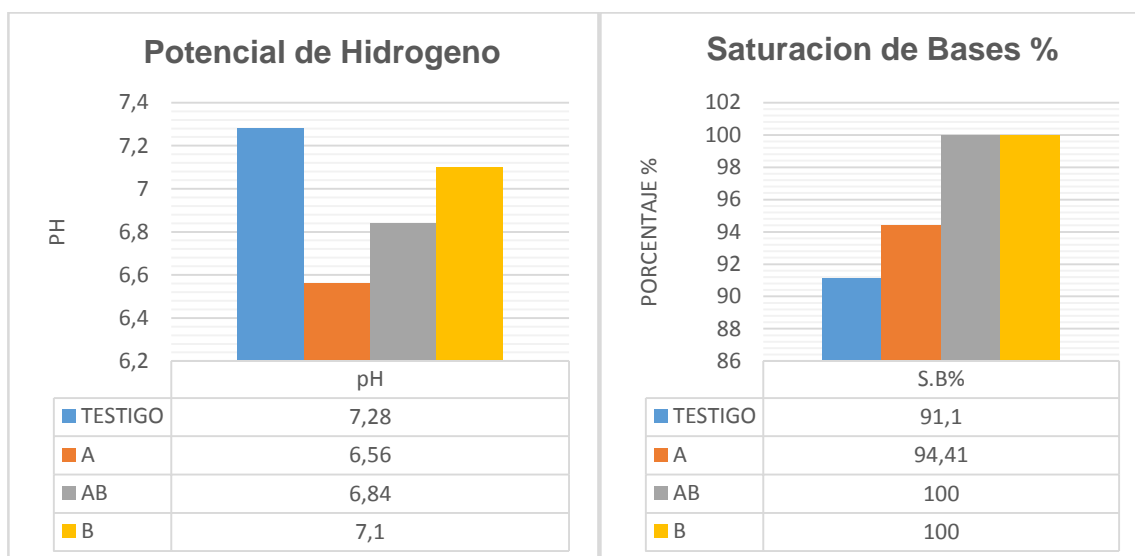
El pH (potencial de hidrógeno) determina el grado de adsorción de iones (H^+) por las partículas del suelo e indica si un suelo está ácido o alcalino. Es el indicador principal en la disponibilidad de nutrientes para las plantas, influyendo en la solubilidad, movilidad, disponibilidad y de otros constituyentes y contaminantes inorgánicos presentes en el suelo. (FAO, 2020).

Por su parte, En el suelo se encuentran los cationes ácidos (hidrógeno y aluminio) y los cationes básicos (calcio, magnesio, potasio y sodio). La fracción de los cationes básicos que ocupan posiciones en los coloides del suelo de refiere al porcentaje de saturación de bases. Cuando el pH del suelo indica 7 (estado neutral) su saturación de bases llega a un 100% y significa que no se encuentran iones de hidrógeno en los coloides. La saturación de bases se relaciona con el pH del suelo. Se utiliza únicamente para calcular la cantidad de limo requerida en un suelo ácido para neutralizarlo (FAO, 2020).

Tabla 11. Resultados de características químicas del suelo – pH y saturación de bases, Granja Experimental de la Universidad Popular del Cesar

TRATAMIENTOS	Potencial de hidrogeno pH	Saturación de bases S.B%
TESTIGO	7,28	91,1
A	6,56	94,41
AB	6,84	100
B	7,1	100

Fuente: Autores del proyecto, 2020



Gráfica 14. Comparación de pH y saturación de bases entre el testigo y especies de plantas – Granja Experimental de la Universidad Popular del Cesar

Fuente: Autores del proyecto, 2020

Con relación a la gráfica y tabla relacionada con el potencial de hidrogeno se pudo analizar lo siguiente: En los tratamientos A y AB arrojaron valores de pH entre los 6,56 al 6,84 en donde disminuyó considerablemente en comparación con el testigo; por su parte el tratamiento B obtuvo un pH de 7,1; constatando que, estos suelos tienen características neutras según como lo establece (Jaramillo, 2002) en un rango de pH entre 6.5 y 7.3. Ante ello, esto promueve a que las plantas cultivadas en general presentan su mejor desarrollo en valores cercanos a la neutralidad, ya que, en estas condiciones los elementos nutritivos están más fácilmente disponibles y en un equilibrio más adecuado. (Garrido, 1994).

Por su parte, en cuanto a la saturación de bases se presentó que, en las tres muestras presentaron una alta saturación de bases por encima del 50%, por lo que se pueden calificar como suelos eutróficos o saturados que poseen en general una buena oferta de bases o suelos de alta fertilidad). Por ello, en la mayoría de las situaciones, una saturación con bases relativamente alta (>60%) es deseable. El pH del suelo aumenta a medida que aumenta el porcentaje de saturación de bases, con saturaciones de base del 70% al 80% que representan suelos con pH >6.0. (Espinoza, Slaton, & Mozaffari, 2012)

6.6.2.2. Porcentaje de carbono total y nitrógeno total

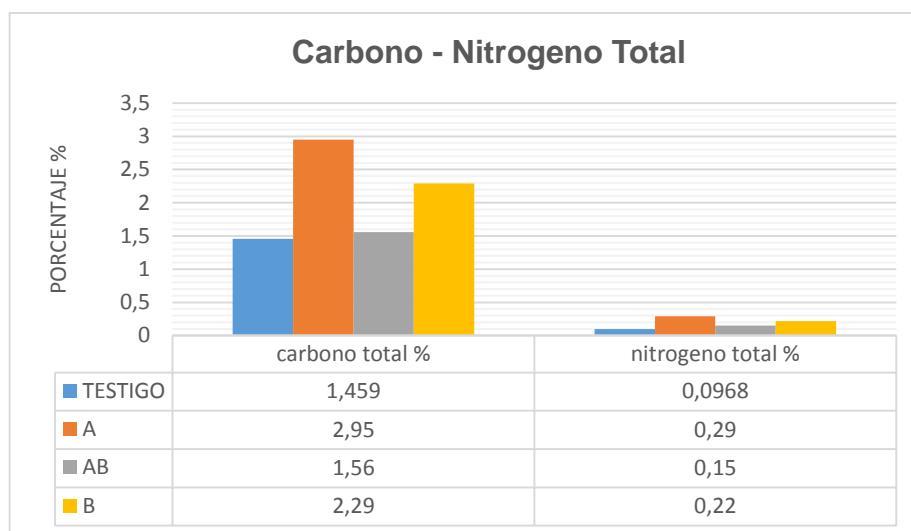
El Carbono Orgánico del Suelo (COS) **mejora las propiedades físicas del suelo**, aumenta la **Capacidad de Intercambio Catiónico**, la retención de humedad y contribuye con estabilidad de suelos arcillosos al ayudar a aglutinar las partículas para formar agregados. La materia orgánica del suelo está compuesta en mayoría de carbono, tiene una capacidad de retener una gran proporción de nutrientes, cationes y oligoelementos esenciales para el crecimiento de las plantas. (FAO, 2020).

Por su parte, **el nitrógeno del suelo es uno de los elementos de mayor importancia para la nutrición** de las plantas y más ampliamente distribuido en la naturaleza. Se asimila por las plantas en forma cationica de amonio NH_4^+ o anionica de nitrato NO_3^- . A pesar de su amplia distribución en la naturaleza se encuentra en forma inorgánica por lo que no se pueden asimilar directamente. (FAO, 2020).

Tabla 12. Resultados de características químicas del suelo – carbono total y nitrógeno total, Granja Experimental de la Universidad Popular del Cesar

TRATAMIENTOS	Carbono total %	Nitrógeno total %
TESTIGO	1,459	0,0968
A	2,95	0,29
AB	1,56	0,15
B	2,29	0,22

Fuente: Autores del proyecto, 2020



Gráfica 15. Comparación de carbono total y nitrógeno total entre el testigo y especies de plantas – Granja Experimental de la Universidad Popular del Cesar

Fuente: Autores del proyecto, 2020

Con respecto a la gráfica y tabla anterior relacionada con el porcentaje de carbono total, se puede inferir que; el tratamiento A presentó un alto porcentaje de carbono en alrededor del 2,95% seguidamente del tratamiento B del 2,29% respectivamente. Pero se analiza que, tanto el testigo como el tratamiento AB no variaron dicho porcentaje; por tanto, se deduce que la combinación de los tratamientos no es ideal para el crecimiento de carbono en el suelo. Este aumento de los porcentajes de este parámetro se da principalmente por la materia orgánica disponible de los tratamientos en estudio, ya que ayuda a mejorar la agregación del suelo y la estabilidad estructural que, junto con la porosidad, son importantes para la aireación del suelo y la infiltración de agua en el suelo, en donde ayudan a proteger la superficie del suelo. (ONU, 2017)

Por su parte, el tratamiento A presentó un alto porcentaje de carbono total en alrededor del 0,29% seguidamente del tratamiento B con un 0,22% y por último el 0,15% de nitrógeno total del tratamiento AB, en este caso; se muestra una mayor efectividad para el nitrógeno total para el tratamiento A, pero con relación a los datos

refleja que; las cantidades de nitrógeno en el suelo, en forma disponible para la planta, son pequeñas; en donde se encuentran por lo general en rocas y minerales de los cuales se formaron los suelos. (INPOFOS, 1998). Además, se caracteriza la fijación de este tipo de nutriente por ser plantas leguminosas los cuales facilitan de manera alguna la fijación del poco nitrógeno disponible en el ambiente; pero se infiere que el N disponible en forme de nitratos (NO₃-) y amonio (NH₄+) puede disminuir drásticamente su oferta, al sembrar cultivos de alta exigencia en este nutriente.

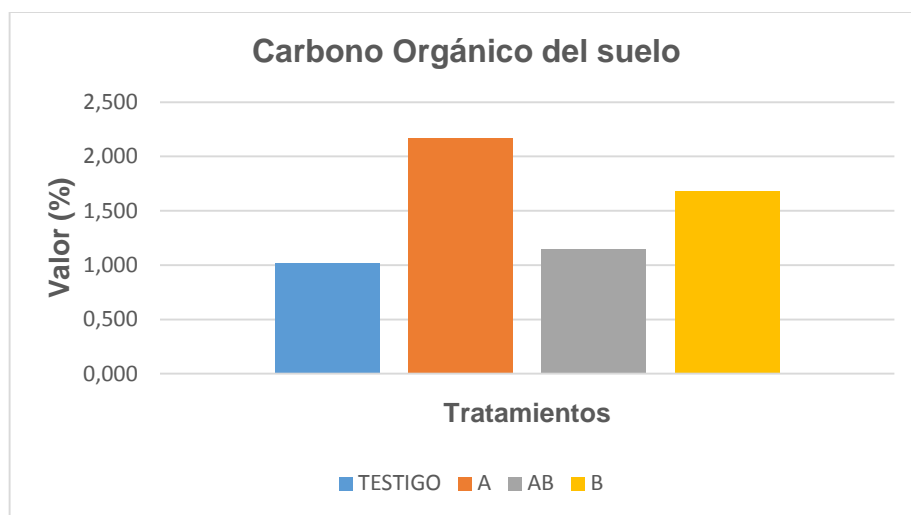
6.6.2.3. Porcentaje de carbono orgánico

Los resultados de carbono orgánico, se presentan a continuación

Tabla 13. Resultados de Carbono orgánico

CARBONO ORGÁNICO DEL SUELO	
TRATAMIENTOS	Carbono orgánico (%)
TESTIGO	1,019
A	2,169
AB	1,147
B	1,684

Fuente: Autores, 2020



Gráfica 16. Carbono orgánico del suelo

Fuente: Autores, 2020

Con respecto a la gráfica y tabla anterior relacionada con el porcentaje de carbono orgánico del suelo, se puede inferir que; el tratamiento A presentó el mayor porcentaje de carbono orgánico, con alrededor del 2,169% seguidamente del tratamiento B con el 1,684% respectivamente. El tratamiento AB mostró el menor rendimiento en cuanto al aumento del carbono orgánico, en comparación al tratamiento A y B con un porcentaje del 1,560%. Esto afirma que la combinación de las dos especies de plantas mostró los rendimientos más bajos en parámetros importantes y en este no fue la excepción. Por su parte, el tratamiento A por conservar una textura arcillosa, para un porcentaje del COS de 2,169%, se cataloga como un nivel *normal* en el suelo de acuerdo a lo establecido en la **Figura 7**.

El carbono orgánico del suelo (COS) se relaciona con la sustentabilidad de los sistemas agrícolas afectando las propiedades del suelo relacionadas con el rendimiento sostenido de los cultivos. El COS se vincula con la cantidad y disponibilidad de nutrientes del suelo, al aportar elementos como el N cuyo aporte mineral es normalmente deficitario (Martínez et al., 2008).

Por otra parte, el aumento del COS según (Cotler et al., 2016) “muestra que prácticas de agricultura de conservación y diversos sistemas de producción tradicionales pueden incrementar de manera considerable el carbono orgánico en suelos, lo que repercute en su resistencia ante el impacto de la lluvia, mejora la tasa de infiltración y la cantidad de agua disponible, incrementa el contenido de la biomasa microbiana, disminuye la erosión y mitiga la emisión de gases de efecto invernadero”.

6.6.2.4. Porcentaje de carbonato de calcio

En el presente estudio; no se evidenciaron los resultados correspondientes a carbonatos de calcio debido a que, el procedimiento que utiliza el laboratorio IGAC para su determinación, permite realizarlos, si el valor de pH es mayor a 7.0 y la prueba cualitativa de reacción al HCl 10% sea (+) positiva y solamente cumplió con esta condición el tratamiento B.

Las posibles razones por las cuales presentaron inconvenientes al determinar el porcentaje de carbonato de calcio se debe según explica autores a varias causa: primero, a la pérdida de bases y des alcalinización que sufrió el suelo ya sea por arrastre de partículas durante la temporada de estudio (alta precipitación pluvial) que lixiviaron posiblemente estas sustancias (Albareda, 1940); segundo, por toxicidad a los elementos de manganeso – hierro y aluminio que pudieron haber perjudicado un poco el aumento de la acidez del suelo en los tratamientos A y AB (FRIED & PEECH, 1946); y tercero, la consecuencia de este aumento de la acidez del suelo y bajo porcentaje de carbono de calcio pudo ser por la alteración de las características físicas – químicas y microbiológicas reflejado en el incremento de la granulación y las condiciones de aireación del suelo que puede fluctuar la disponibilidad de iones básicos, en especial el calcio para que pueda haber presencia de este compuesto (Santaella & González, 1965)

Además, la razón corrobora que, en el tratamiento B al tener un pH ligeramente básico debido a las condiciones explicadas en el anterior ítem ya sea por baja presencia de elementos tóxicos o baja lixiviación de compuestos y elementos básicos en la parcela selecciona ha demostrado un valor positivo para el carbonato de calcio, pero, al tener una baja representatividad en cuanto al pH no demuestra un valor significativo dentro del parámetro analizado.

Por último, se puede inferir que; la posible causa de la ausencia de carbonatos de calcio en los tratamientos A y AB podría ser principalmente por la presencia de un elemento tóxico en el suelo estudiado como el aluminio que, dentro de este estudio no se llevó a cabo el análisis del elemento, la cual pudo haber sido la disminución del pH; pero a pesar de estas circunstancias la planta del guandú sobrevive a pH ligeramente ácido.

6.6.2.5. Capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE)

No se presentaron los resultados correspondientes a **CICE** debido a que, este parámetro sólo se realiza cuando el suelo presenta un cierto grado de acidez y que,

en algunas muestras, se presentaron sales solubles los cuales argumenta el laboratorio IGAC impidieron la determinación de este.

Cabe mencionar que, el CICE determina la capacidad de intercambio catiónico que puede poseer el suelo bajo un pH determinado; el cual se calcula con la suma de los cationes de Ca^{+2} – Mg^{+2} – K^{+} – Al^{+3} y H^{+} . (Fondo Nacional del Cafe, 2016). Para el caso del tratamiento A; obtuvo un CICE de 19.90, lo que quiere decir que, el tratamiento presentó un grado de acidez alto, ya sea por la alta presencia de cationes ácidos como Al^{+3} y la liberación de iones de H^{+} en el suelo o por la baja disponibilidad de los elementos catiónicos básicos como Ca – Mg – K por la absorción de la planta objeto de estudio así como se menciona en el anterior ítem (ver **6.6.2.4**), esto se corrobora en los resultados obtenidos para el dicho tratamiento en el ítem **6.6.2.1** en donde refleja un valor de pH de 6,56. Esto impide que se genere una capacidad de intercambio catiónicos entre los elementos nutritivos del suelo objeto de estudio. Sin embargo, en el caso del tratamiento AB presentó igualmente un grado de acidez determinado, pero, al sumar los cationes respectivos no se evidencia un resultado contundente de CICE que pueda arrojar un valor respectivo, la causa puede ser por la baja disponibilidad de los elementos que ocasionan la acidez (Al^{+3} y H^{+}) o por la disponibilidad suficiente de elementos que otorgan basicidad al suelo como los nutritivos (Ca – Mg – K).

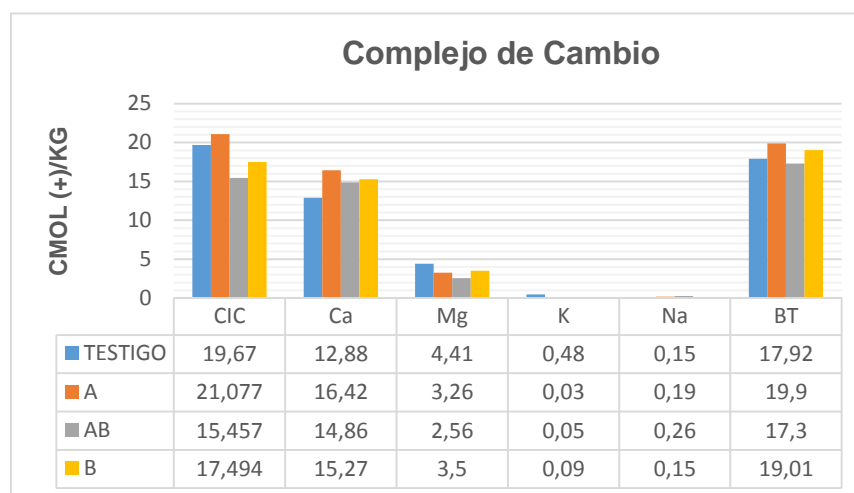
6.6.2.6. Complejos de cambio

El complejo de cambio consiste principalmente en el conjunto de coloides dotados de cargas negativas capaces de retener los cationes de cambio. Es decir, los iones de cambio del complejo absorbente están en equilibrio con la solución del suelo, de tal forma que cualquier alteración en la composición de esta última induce otro concomitante en el reiterado equilibrio (Ibáñez, 2007). Además, La cantidad de iones que pueden adsorber los coloides del suelo depende de la cantidad de carga superficial que ellos tengan y la fuerza con que son retenidos depende de la densidad de carga del coloide (Jaramillo, 2002).

Tabla 14. Resultados de características químicas del suelo – complejos de cambio, Granja Experimental de la Universidad Popular del Cesar

TRATAMIENTOS	COMPLEJO DE CAMBIO cmol(+)/Kg					
	CIC	Ca	Mg	K	Na	Bases Totales
TESTIGO	19,67	12,9	4,41	0,48	0,15	17,92
A	21,08	16,4	3,26	0,03	0,19	19,9
AB	15,46	14,9	2,56	0,05	0,26	17,3
B	17,49	15,3	3,5	0,09	0,15	19,01

Fuente: Autores del proyecto, 2020



Gráfica 16. Comparación de complejo catiónico entre el testigo y especies de plantas – Granja Experimental de la Universidad Popular del Cesar

Fuente: Autores del proyecto, 2020

La capacidad de intercambio catiónico CIC es la medida de la capacidad que posee un suelo de adsorber cationes y es equivalente a la carga negativa del suelo. Esta propiedad es la que define la cantidad de sitios disponibles para almacenar los cationes en el suelo. Los cationes que son sometidos a esta retención quedan protegidos contra los procesos que tratan de evacuarlos del suelo, como la lixiviación, evitando así que se pierdan nutrientes para las plantas (Jaramillo, 2002). Por lo tanto, se pudo inferir en la gráfica y tabla de este parámetro que, el tratamiento A presentó alto valor de CIC de 21,077 seguidamente del testigo con 19,67 el tratamiento B con 17,49 y por último el tratamiento AB con 15,45. Los valores de CIC dependerá de la capacidad del suelo que permite retener los elementos necesarios para nutrir a las plantas (Garrido, 1994); por lo anterior, se infiere que,

el tratamiento A se caracteriza por ser un suelo medio (Garrido, 1994) con capacidad necesaria de retener elementos e impedir que sea percolado, y que, es efectivo dicha retención para pH neutro y un porcentaje de saturación de bases superior al 80% respectivamente. En cortas palabras, es un suelo de carga permanente, lo que quiere decir que su constitución coloidal está dominada por arcillas tipo 2:1 (es el doble de cantidad de porcentaje de arcilla con respecto a la arena y limo).

En cuanto a las bases intercambiables, los niveles de calcio (Ca) en el tratamiento A es alto, seguidamente del tratamiento B y por último el tratamiento AB; por su parte, el potasio (K) disminuyó drásticamente en los tres tratamientos con respecto al testigo; posteriormente, el magnesio (Mg) presenta niveles muy altos en el tratamiento B y A respectivamente. El sodio se presenta muy bajo y su % de sodio intercambiable (PSI) también, por lo que se descarta problemas de sodio. Por el % de saturación individual, en donde al Ca y Mg dominan, se infiere que las sales presentes en solución podrían ser derivadas de carbonatos de magnesio o calcio. En este orden de ideas, el calcio para el tratamiento A presenta un nivel de dominancia de las bases intercambiables debido a que es el catión dominante en el suelo, aun a valores de pH bajos, y ocupa normalmente el 70% o más de los sitios en el complejo de intercambio. Al igual que otros cationes, el Ca también está presente en la solución del suelo. (INPOFOS, 1998).

Por su parte, el Mg en el tratamiento A es el segundo catión de dominancia debido a que Los suelos generalmente contienen menos Mg que Ca debido a que no es absorbido tan fuertemente como el Ca por los coloides del suelo y puede perderse más fácilmente por lixiviación, en donde este tipo de suelos puede poseer la cantidad suficiente de Mg para soportar el crecimiento vegetativo. (INPOFOS, 1998). Seguidamente, el potasio K es el catión de mayor ausencia y por ende el más vital de todos para la nutrición de las plantas, demostrando que, la poca cantidad de este elemento que poseía en el suelo fue tomada por las plantas objetos de estudio como nutrientes del mismo; por tanto, se deduce que, en estos tratamientos, ninguno tuvo la capacidad de fijar o de aumentar este elemento en el

suelo; es decir, provoca que a medida que baja el contenido de K en el suelo, decrece la absorción de este nutriente por parte de las raíces (INPOFOS, 1998). Pero, se presentaron bajos niveles de sodio Na que, a diferencia del potasio K; resulta ser beneficioso para el suelo debido a que, este elemento en grandes cantidades presentan una serie de problemas por la presencia de soluciones salinas que ocasiona que se disperse en el suelo, limitando el movimiento de aire y agua (INPOFOS, 1998), que, en este caso, se encontraban disponibles de forma natural en el suelo a muy baja concentración.

6.6.2.7. Elementos menores

Son aquellos elementos de los cuales las plantas tienen unas necesidades muy pequeñas y cuyo contenido en el suelo es suficiente para asegurarlas. Solamente la presencia muy elevada de algún macroelemento secundario puede impedir que las plantas lo absorban (bloqueos), o que determinadas condiciones físicas del suelo (como el pH) impidan su solubilidad, y por tanto, su disponibilidad para la planta (López, 1988).

Tabla 15. Elementos menores

ELEMENTOS MENORES DISPONIBLES (mg/Kg)						
TRATAMIENTOS	Mn (mg/Kg)	Fe (mg/Kg)	Zn (mg/Kg)	Cu (mg/Kg)	B (mg/Kg)	S (mg/Kg)
Testigo	28,83	12,59	1,8	2,68	0,12	9,13
A	30,46	18,35	3,47	5,73	0,73	8,52
AB	22,77	91,45	2,15	5,93	0,4	8,99
B	29,42	96,11	2,66	5,1	0,46	6,99

Fuente: Autores, 2020

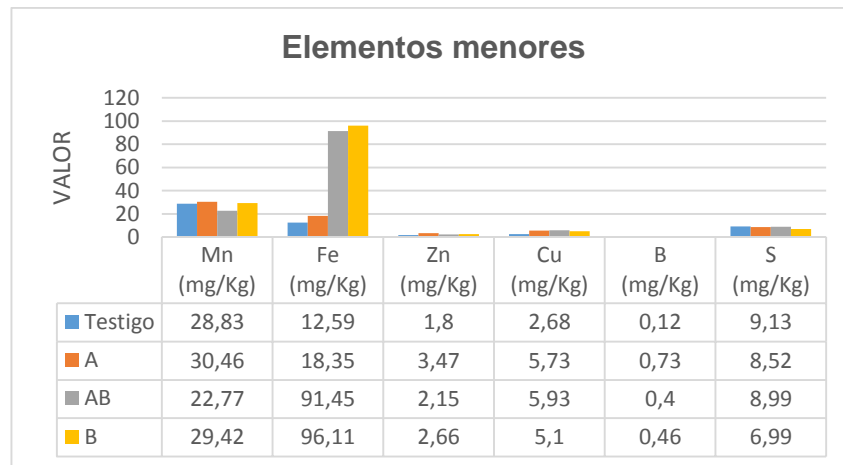


Figura 17. Elementos menores

Fuente: Autores, 2020

En cuanto a los elementos menores el hierro (Fe) es bajo en el tratamiento A y alto en los demás tratamientos; seguidamente, el boro (B) presentaron un incremento de niveles considerables en comparación con el testigo mostrando un aumento considerable en el tratamiento A con 0,73mg/kg; y por último, los contenidos de azufre (S) presentaron un nivel de equivalencia entre los tratamientos A y AB en valores de 8,52 y 8,99mg/Kg y bajo en el tratamiento B, pero, comparando con el testigo, presentaron valores debajo del registrado antes del procedimiento.

El aumento de la cantidad del micronutriente de hierro Fe para los tratamientos AB y B respectivamente se debió esencialmente por la propiedad que posee la planta usada para el tratamiento B debido a que posee altas propiedades de hierro de forma soluble y que se encuentra en el suelo en mayor abundancia (Escuela Agrícola Panamericana "El Zamorano", 2001).

Además, el aumento considerable del fósforo P en todos los tratamientos, exaltando los A y AB se debió principalmente por sus condiciones de requerimiento nutritivo en parte de este macronutriente especial, lo cual deduce que, este tipo de tratamiento mejora la condición de disponibilidad en materia de fosforo disponible del suelo que acompañado en la forma como se presentan coadyuvan a que se aumente dicho elemento en el suelo.

Por su parte, la disminución del azufre S en todos los tratamientos se debió principalmente por la fuente del mismo, ya que la materia orgánica del suelo es la principal fuente de S representado en un 95% del S y el porcentaje restante representado en fuentes naturales incluyen residuos de animales, agua de irrigación y la atmósfera (INPOFOS, 1998); ante este hecho, al haber poca disponibilidad de materia orgánica, es lógico que las plantas absorban el suelo que se encuentre inicialmente y disminuya de forma considerable la cantidad de este elemento secundario.

Seguidamente, el boro B representa un aumento no tan significativo pero comparado con el testigo en todos los tratamientos, en especial el tratamiento A, esto debió ser por la movilidad en el suelo y que puede estar sujeta a proceso de lixiviación a pesar de ser un tipo de suelo arcilloso, pero que este elemento se encuentra en la superficie facilitando su arrastre por acción del agua; además, el clima seco restringe la actividad de las raíces en el suelo y esto puede causar una deficiencia temporal de boro B. (INPOFOS, 1998).

Por otra parte, el manganeso Mn, se encuentra en concentraciones mayores a 10 mg/Kg, clasificándose con concentraciones altas en el testigo y en los demás tratamientos A, AB y B con valores de 28,83 mg/Kg; 30,46 mg/Kg; 22,77 mg/Kg y 29,42 mg/Kg respectivamente. Con respecto al Mn, por las interacciones que existen con el hierro, se le atribuyen síntomas de toxicidad que corresponden a los de deficiencia de hierro, y viceversa. Los requerimientos por Mn de la planta se encuentran en el tejido de los retoños en niveles entre 20 y 40 mg· kg⁻¹ y las reacciones de toxicidad resultan cuando los tejidos han acumulado de 200 a 5.300 mg· kg⁻¹ (Casierra & Poveda, 2005).

6.6.2.8. Elementos disponibles

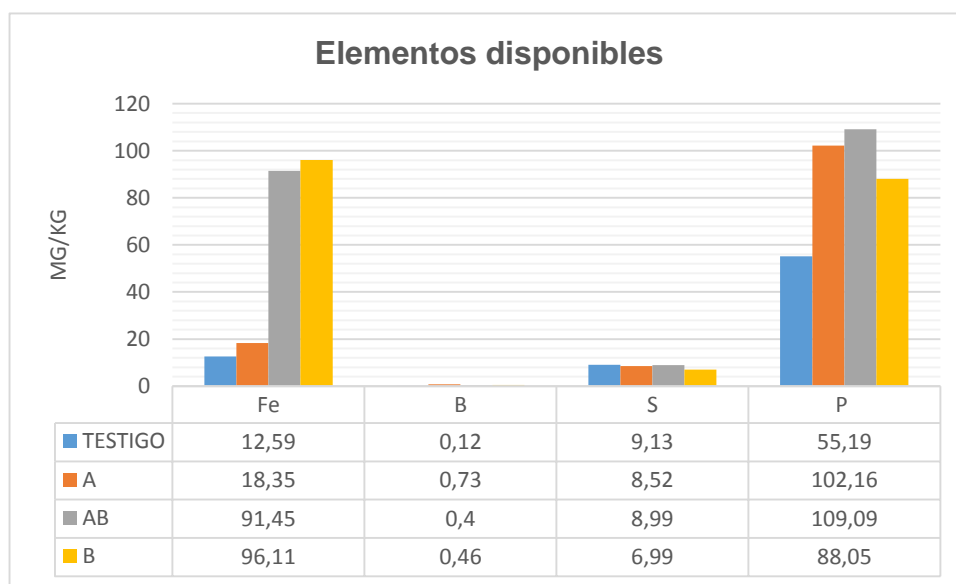
El análisis químico evalúa la capacidad del suelo para suministrar nutrientes a la planta mediante el uso de determinaciones químicas que permitan conocer la disponibilidad nutricional, determinar deficiencias y/o toxicidades y formular

prácticas de manejo que permitan su corrección o el mantenimiento del nivel de fertilidad. (Hernández, 2013).

Tabla 16. Resultados de características químicas del suelo – elementos disponibles, Granja Experimental de la Universidad Popular del Cesar

TRATAMIENTOS	ELEMENTOS DISPONIBLES mg/Kg			
	Fe	B	S	P disponible mg/Kg
TESTIGO	12,59	0,12	9,13	55,19
A	18,35	0,73	8,52	102,16
AB	91,45	0,4	8,99	109,09
B	96,11	0,46	6,99	88,05

Fuente: Autores del proyecto, 2020



Gráfica 18. Comparación de elementos disponibles entre el testigo y especies de plantas – Granja Experimental de la Universidad Popular del Cesar

Fuente: Autores del proyecto, 2020

Se presenta en la gráfica y tabla anterior, un aumento considerable de los niveles de fosforo con mayor cantidad en el tratamiento AB con 109,09mg/kg seguidamente del tratamiento A con 102,16mg/kg y por último del tratamiento B con 88,05mg/kg en donde se mostraron niveles altos con respecto al testigo, constatando la presencia vital de este nutriente principal para el suelo, el cual es característico en

fijar por parte de estas plantas; y es como tal, el nutriente compensatorio ante la ausencia del potasio descrito en el anterior ítem.

Además, el aumento considerable del fósforo P en todos los tratamientos, exaltando los A y AB se debió principalmente por sus condiciones de requerimiento nutritivo en parte de este macronutriente especial, lo cual deduce que, este tipo de tratamiento mejora la condición de disponibilidad en materia de fosforo disponible del suelo que acompañado en la forma como se presentan coadyuvan a que se aumente dicho elemento en el suelo.

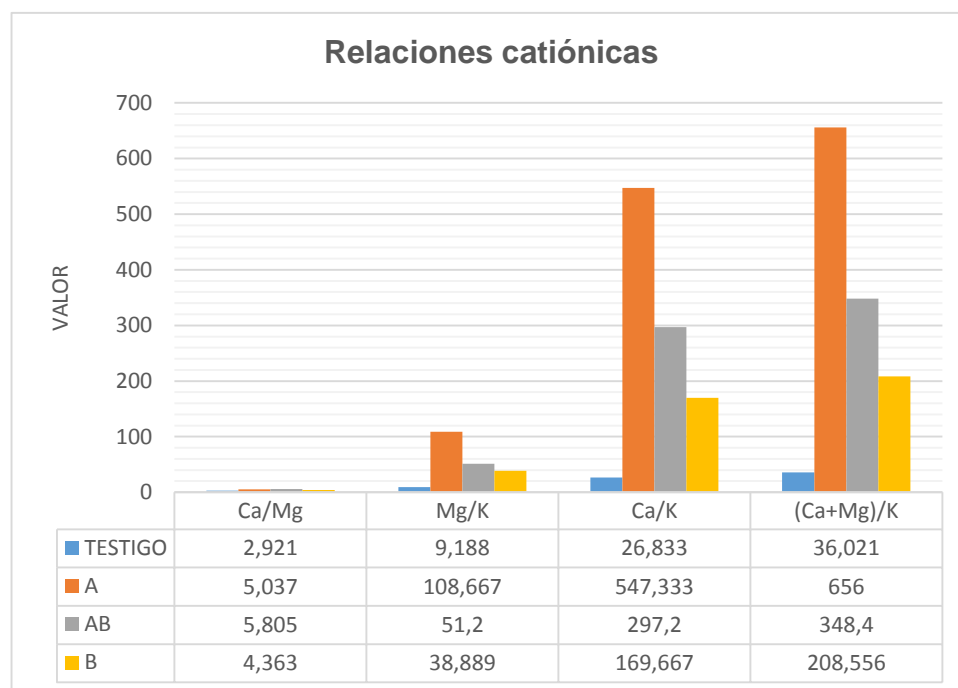
6.6.2.9. Relaciones catiónicas

Cuando se realiza un análisis de suelo, la capacidad de intercambio catiónico (CIC), nos expresa la cantidad de cargas negativas que están disponibles en el suelo, principalmente en las arcillas y materia orgánica. Este valor es un indicador de la capacidad del suelo para retener e intercambiar nutrientes (calcio, magnesio, sodio y potasio principalmente), ya que estos que tienen una carga positiva, se fijan en las arcillas y materia orgánica, que tienen carga negativa. Por lo tanto, el análisis de la CIC en suelos es el valor total de cationes que pueden ser retenidos. El equilibrio del suelo influye en la absorción de los cationes, ya que se establecen sinergias y antagonismos entre los elementos para el que la planta que los absorbe. (Moro, 2015).

Tabla 17. Resultados de características químicas del suelo – elementos disponibles, Granja Experimental de la Universidad Popular del Cesar

TRATAMIENTOS	RELACIONES CATIONICAS			
	Ca/Mg	Mg/K	Ca/K	(Ca+Mg)/K
TESTIGO	2,921	9,188	26,833	36,021
A	5,037	108,667	547,333	656
AB	5,805	51,2	297,2	348,4
B	4,363	38,889	169,667	208,556

Fuente: Autores del proyecto, 2020



Gráfica 18. Comparación de relaciones catiónicas entre el testigo y especies de plantas – Granja Experimental de la Universidad Popular del Cesar

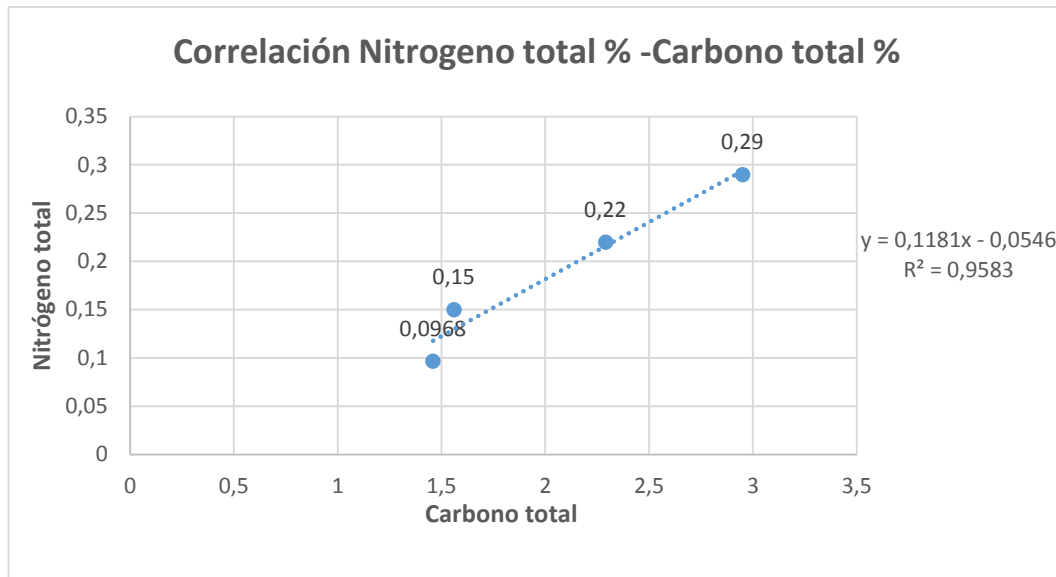
Fuente: Autores del proyecto, 2020

Se evidencia en la gráfica y tabla el aumento de las relaciones de Mg/K – Ca/K y (Ca+Mg)/K en el tratamiento A con razón de disminución en el tratamiento AB y B respectivamente. Esto concuerda con los resultados arrojados en cuanto a la disponibilidad de los cationes de Ca – Mg en el suelo a partir de la determinación de CIC; esta razón de aumento de estas relaciones en el tratamiento A se debió principalmente por el desbalance que se presentan en estos elementos por la deficiencia de K. Es decir, se demuestra una deficiencia de K considerable en el tratamiento A logrando que este aumente las relaciones mencionada a valores muy altos. Y por su parte, la relación Ca/Mg aumentó en relación con el testigo, pero en comparación entre los tratamientos, su valor es estable y depende principalmente de la cantidad de Mg que en este es menor en el tratamiento AB que los demás. (Moro, 2015)

Con relación al Ca/Mg, se puede destacar que, en el tratamiento AB presenta una deficiencia de Mg que los demás tratamientos, además de la presentación de

valores de Ca un poco superiores; por su parte los tratamientos A y B presenta una condición ideal de balance estos elementos. (Moro, 2015).

6.6.2.10. Correlación lineal Nitrógeno total-Carbono total



Gráfica 29. Correlación lineal entre Nitrógeno total y Carbono total
Fuente: Autores del proyecto, 2020

Los resultados mostrados en el gráfico, evidencian una correlación directa entre la Nitrógeno total y el Carbono total. Los resultados, arrojaron una *correlación de Pearson (r)* de 0,9789; lo que indica una correlación fuerte positiva, ya que el valor de r es mayor a cero: $r > 0$; es decir $0,9789 > 0$. Esto indica que la dependencia de las dos variables es directamente proporcional. Lo que significa que a medida que el porcentaje de Carbono total aumenta, el porcentaje de nitrógeno total también lo hace.

Evaluando los parámetros físicos y químicos estudiados anteriormente, podemos concluir que el mejor tratamiento de los tres aplicados en la restauración del suelo es el *tratamiento A: Guandú (cajanus cajan)*. No obstante, es importante resaltar que los tratamientos A, AB y B; presentaron bajos contenidos de potasio (K), lo que indica una deficiencia considerable de este macronutriente en los tres tratamientos. De igual forma, es importante destacar que el análisis preliminar del suelo, arrojó un

valor de 0,48 C mol (+)/Kg o lo que es lo mismo 187,68 ppm, valor que se encuentra dentro de los valores normales de contenido de Potasio en el suelo. La reducción de este macronutriente de forma considerable, puede tener lugar a la absorción de este por parte de las plantas y puede estar asociado también a procesos de lixiviación del suelo por acción del agua. La capacidad de intercambio catiónico (CIC) determinada, también es alta en la primera muestra y de nivel medio en las restantes. Es un suelo de carga permanente, lo que quiere decir que su constitución coloidal está dominada por arcillas tipo 2:1. En cuanto a las bases intercambiables, los niveles de calcio (Ca) son muy altos en las tres muestras, el potasio (K) es muy bajo en la primera muestra y bajo en las restantes, el magnesio presenta niveles muy altos en la primera y última muestra, y alto en la segunda muestra. El sodio se presenta muy bajo y su % de sodio intercambiable (PSI) también, por lo que se descarta problemas de sodio. Esto indica que el suelo del tratamiento A, presentó mejor capacidad de intercambio catiónico. Hay que destacar que no siempre una elevada CIC, implica un elevado contenido de Potasio (K), esto también se asocia al tipo de arcilla que compone el suelo.

7. CONCLUSIONES

Se diseñaron tres pilas cuadradas de 4m x 4m cada una, así: tratamiento A: Parcela de Guandú (*cajanus cajan*), con separación entre semillas de 60cm; tratamiento B: Parcela de Ajonjolí (*sesamum alatum*), con separación entre semillas de 40cm y, por último, el tratamiento AB: Parcela de Guandú-Ajonjolí con 30cm de separación entre una semilla y otra. Las pilas se diseñaron, con el fin de estudiar el comportamiento de las plantas en la restauración del suelo propio de la granja piloto de la Universidad Popular del Cesar. El estudio se inició con una toma de muestra preliminar al suelo (testigo), el cual se envió a analizar al laboratorio de suelos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi. El suelo presentó una textura arcillosa, con un pH de 7,28, presentando niveles bajos de Nitrógeno total (N), Boro (B), Sodio (Na) y hierro (Fe).

Las semillas de las plantas, se compraron y posterior a ellos, se colocaron a germinar bajo condiciones controladas en el vivero de la Universidad Popular del Cesar. El proceso de germinación y tratamiento en las pilas, demoró 6 meses, en los cuales se llevó a cabo el segundo muestreo, una vez las plantas cumplieron su ciclo natural. El segundo muestreo, nuevamente se envió al laboratorio de suelos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Las plantas en términos generales, presentaron una buena adaptación al suelo, esto se puede ver reflejado en los resultados del segundo muestreo. El tratamiento más eficiente de los tres, fue el tratamiento A, el tratamiento con las plantas de Guandú, mostró un mejor comportamiento del suelo, en términos de textura, pH, macronutrientes como Nitrógeno (N) que pasó de 0,00968% a un porcentaje de 0,29% y fósforo (P) que pasó de 55,19 mg/kg a 102,16 mg/Kg. De igual manera se obtuvieron buenos resultados en nutrientes secundarios, tales como Calcio (Ca), Magnesio (Mg), sodio (Na), Hierro (Fe) y Boro (B). Así mismo, la capacidad de intercambio catiónico del suelo, se observó mejor en el tratamiento A, con un valor de 21,08 meq/100g.

Las plantas de Guandú presentan una buena adaptación en suelos disturbados por monocultivos en zonas calidas y pH en el rango de la neutralidad.

8. RECOMENDACIONES

- Se debe suplementar el potasio con el fin de equilibrar los desbalances catiónicos que se presentan. Los demás elementos se encuentran en rangos de suficiencia adecuados, por lo que en general no se requeriría su aplicación.
- Se debe de realizar un diseño experimental para escoger la aplicación del fertilizante, a fin de equilibrar el desbalance en cuanto a requerimiento de potasio.
- Con relación al nitrógeno, a pesar de presentar niveles de C.O aceptables, pero dado que en clima cálido, con un pH adecuado, los % de mineralización son muy altos, se infiere que el N disponible en forme de nitratos (NO_3^-) y amonio (NH_4^+) puede disminuir drásticamente su oferta, al sembrar cultivos de alta exigencia en este nutriente. Por lo tanto se aconseja fertilizar con nitrógeno, ajustando dosis de acuerdo a la curva de absorción del cultivo sembrar o en su defecto en base a los rangos de suficiencia y dosis propuestas por el sistema 5a aproximación del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA).
- En cuanto a los elementos menores, en general a pH por encima de 7.0 se presenta dificultad en su absorción por parte de las plantas (excepto el molibdeno), por lo que se recomienda un suplemento periódico de estos.
- De acuerdo a los resultados, se sugiere una suplementación de hierro (Fe) en la primera muestra, boro (B) en la segunda y tercera muestra. Para el manganeso (Mn) y cobre (Cu) se sugiere no hacer aplicaciones ya que sus niveles son muy altos.
- Con el zinc (Zn) que presenta niveles medios, se aconseja aplicar dosis bajas de mantenimiento, especialmente si el proyecto productivo se trata de cultivos perennes.
- Se recomienda realizar para futuras investigaciones, un muestreo en intervalos de tiempo, para poder aplicar algún diseño experimental en los tratamientos.

9. BIBLIOGRAFÍA

- (s.f.). Obtenido de <https://www.ajonjoli.org/cultivo/>
- Ajonjolí. (2018). Obtenido de <https://www.ajonjoli.org/cultivo/>
- Albareda, J. (1940). El suelo. *Traductores y autores españoles.*, 193-243.
- Andrades, M., & Martínez, M. (2014). *FERTILIDAD DEL SUELO Y PARÁMETROS QUE LA DEFINEN.* Obtenido de [file:///C:/Users/HECTOR%20PAVA/Downloads/Dialnet-FertilidadDelSueloYParametrosQueLaDefinen-267902%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/HECTOR%20PAVA/Downloads/Dialnet-FertilidadDelSueloYParametrosQueLaDefinen-267902%20(2).pdf)
- Andrades, M., & Martínez, M. (2014). *FERTILIDAD DEL SUELO Y PARÁMETROS QUE LA DEFINEN.*
- Bembibre, C. (2012). *Definicion ABC.* Obtenido de <https://www.definicionabc.com/economia/plantacion.php>
- Bonet, J., & Aguilera, M. (2018). *Cincuenta años de la economía del Cesar: De la agroindustria del algodón a la extracción del carbón.* Cartagena: Banco de la República: Centro de estudios económicos regionales (CEER).
- Casierra, F., & Poveda, J. (2005). La toxicidad por exceso de Mn y Zn disminuye la producción de materia seca, los pigmentos foliares y la calidad del fruto en fresa. *Suelos, Fertilización y Manejo de aguas.*
- El Pilon.* (2018). Obtenido de <https://elpilon.com.co/preocupenos-por-el-suelo/>
- Escuela Agrícola Panamericana "El Zamorano". (2001). *Manual de Manejo: el cultivo de ajonjolí.* Zamorano: Departamento de protección vegetal.
- Espinoza, L., Slaton, N., & Mozaffari, M. (2012). Como Interpretar los Resultados de los Análisis de Suelos. *Agricultura y Recursos Naturales, DIVISION OF AGRICULTURE*, 1-12.
- FAO. (1996). *Tema El Suelo.* Obtenido de <http://www.fao.org/docrep/006/w1309s/w1309s04.htm>
- FAO. (2017). *MAPA DE CARBONO ORGÁNICO DEL SUELO.* Obtenido de <http://www.fao.org/3/i8195es/i8195ES.pdf>

- FAO. (25 de Mayo de 2020). *Portal de Suelos de la FAO*. Obtenido de Propiedades Químicas: <http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/clasificacion-de-suelos/sistemas-numericos/propiedades-quimicas/es/>
- Fernández, P. (2014). *Geomorfología: Los Suelos*. Obtenido de https://eprints.ucm.es/26058/1/Geomorfologia_SUELOS.pdf
- Fondo Nacional del Cafe. (2016). *La acidez del suelo, una limitante comun para la produccion de cafe*. Bogotá DC: Programa de Investigacion Cientifica. Obtenido de <https://www.cenicafe.org/es/publications/AVT0466.pdf>
- FRIED, M., & PEECH, M. (1946). The comparativa effects of lime and gypsum upon plants grown on acid soils. *Jour. Amer. Agronomy.* , 330-346.
- fuelle, A. L. (s.f.). Obtenido de <https://www.analesranf.com/index.php/mono/article/viewFile/598/615>
- Garrido, S. (1994). *Interpretacion de analisis de suelos*. Madrid: Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentacion.
- GUANDUL. (2012). Obtenido de <http://rosas-cauca.blogspot.com/>
- Hernández, J. C. (2013). *EDAFOLOGIA Y FERTILIDAD*. Bogota: Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD.
- IAVH. (2014). Obtenido de <http://www.humboldt.org.co/es/investigacion/proyectos/en-desarrollo/item/158-bosques-secos-tropicales-en-colombia>
- Ibáñez, J. J. (30 de mayo de 2007). *Madrid Blogs*. Obtenido de Un Universo invisible bajo nuestros pies, Los suelos y la vida: <https://www.madrimasd.org/blogs/universo/2007/05/30/66696>
- IDEAM. (2016). Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/>
- INPOFOS. (1998). *MANUAL INTERNACIONAL DE FERTILIDAD DE SUELOS*. Georgia: Instituto de la Potasa y el Fósforo AC INPOFOS.
- Jackson, M. (1964). *Análisis químico de suelos*. Barcelona: Barcelona, España: Omega.
- Jaramillo, D. (2002). *INTRODUCCION A LA CIENCIA DEL SUELO. UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA*, 619.

- Jaramillo, D. (2002). *INTRODUCCIÓN A LA CIENCIA DEL SUELO*. Medellín.
- León, T. (2007). Medio ambiente, tecnología y modelos de agricultura en Colombia: hombre y arcilla. *Ideas 8, Universidad Nacional de Colombia*.
- López, E. (1988). *MÉTODOS RÁPIDOS DE ANALISIS DE SUELOS*. Madrid.
- Moro, A. (26 de noviembre de 2015). *AQM Laboratorios*. Obtenido de Relaciones catiónicas y su interpretación en los análisis de suelos: <http://aqmlaboratorios.com/relaciones-cationicas-analisis-de-suelos/>
- ONU. (2017). *Carbono Organico Total del suelo: el potencial oculto*. Roma: FAO.
- Pita Villamil, J., & Pérez García Félix. (1998). Obtenido de : https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1998_2090.pdf
- REYNOSO, V. (2016). *VIA ORGANICA A.C.* Obtenido de <https://viaorganica.org/15451-2/>
- Santaella Gutiérrez, G., & González M, A. (1965). Influencia del carbonato de calcio en las propiedades químicas de un suelo en Terraza de Villa - Rica (Cauca). *Universidad Nacional de Colombia*, 33-60.
- Segura, H. (2019). Valledupar.
- SIAC. (s.f.). Obtenido de <http://www.siac.gov.co/erosion>
- Textos Científicos. (2006). *Textos Científicos*. Obtenido de <https://www.textoscientificos.com/quimica/suelos>
- UNAD. (2013). *EDAFOLOGIA Y FERTILIDAD*. Bogotá: Universidad Nacional Abierta y a Distancia.
- Wagner, M. (2011). *LAS HUELLAS AMBIENTALES DEL ORO BLANCO: LA EXPANSIÓN ALGODONERA EN EL VALLE DEL RÍO CESAR (1950-1980)*. Bogotá, Cundinamarca, Colombia.

10. ANEXOS

Anexo 1. Granja experimental Universidad Popular del Cesar



Anexo 2.Reconocimiento del terreno



Anexo 3. Plantación de semillas de Guandú y Ajonjolí en el vivero



Anexo 4. Germinación de semillas de Guandú y Ajonjolí



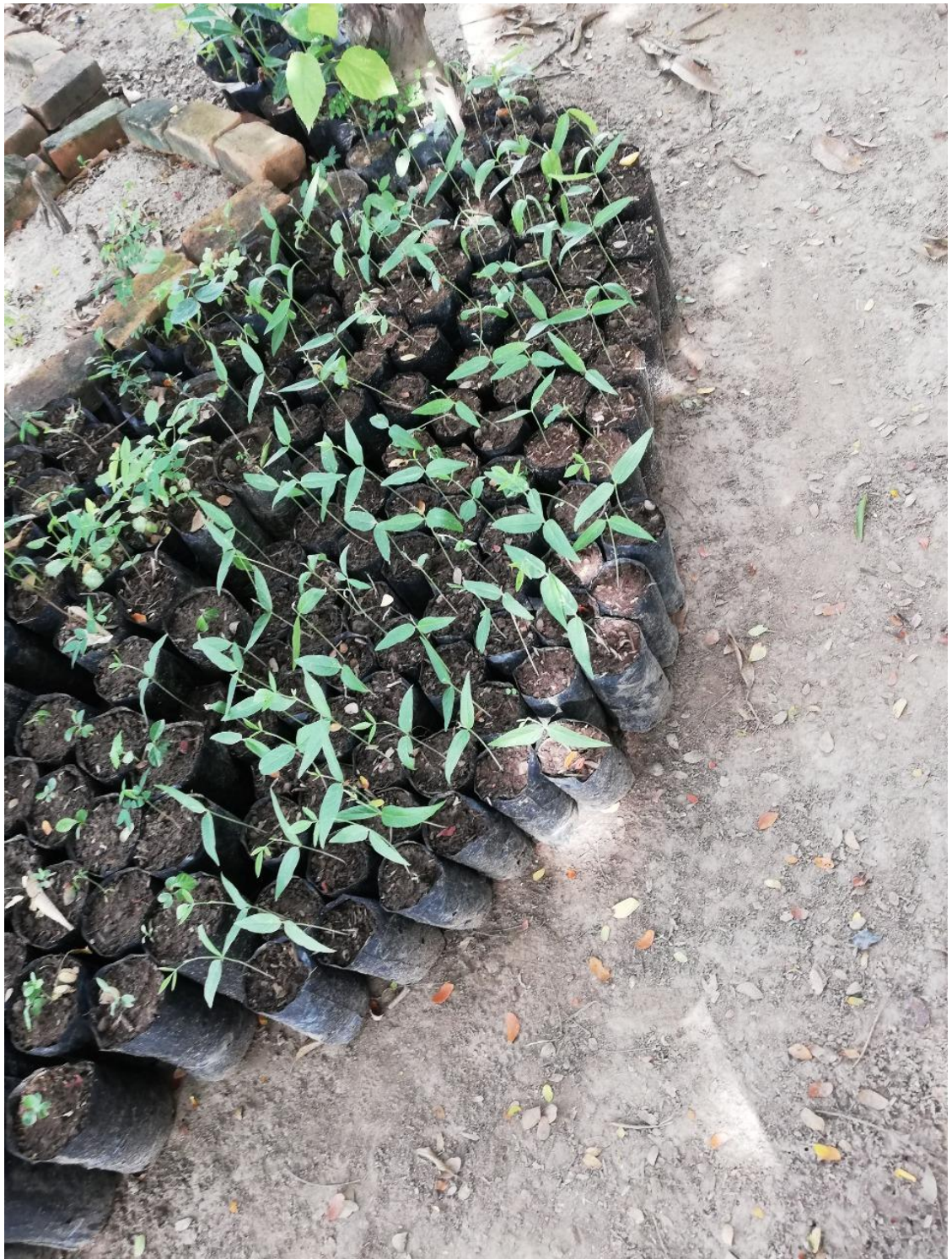


Anexo 5. Construcción de las parcelas de los tratamientos A, AB y B





Anexo 6. Siembra de las plantas en las parcelas A, AB y B





Anexo 7. Crecimiento de las plantas





Anexo 8. Toma de muestras finales en las parcelas



Anexo 9. Resultados de pruebas de laboratorio del IGAC

IGAC		RESULTADOS DE ANÁLISIS QUÍMICO – CARACTERIZACIÓN Q-03											FECHA						
		GESTIÓN AGROLÓGICA											AAAA-MM-DD						
													2020-10-22						
NOMBRE Y APELLIDO / EMPRESA / PROYECTO		DIEGO ARMANDO CARABALI HURTADO							TIPO DE MUESTRA		SUELO		No. SOLICITUD			4243_1			
DEPARTAMENTO / MUNICIPIO / LOCALIZACIÓN		Cesar - Valledupar																	
SUPLEMENTO DE RESULTADOS		<input checked="" type="checkbox"/>		DE FECHA			2020-04-17			DIRECCIÓN DEL CLIENTE							TRANSVERSAL 5 B No 45 - 62		
No. DE LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO	PROFUNDIDAD (cm)	GRANULOMETRÍA			CLASE TEXTURAL	GRAVILLA %	RELACIÓN DE pH	pH	ACIDEZ INTERCAMBIABLE cmol(+)/Kg	S.A.I. %	CARBONATO DE CALCIO	CARBONO ORGÁNICO %	CARBONO TOTAL %	NITRÓGENO TOTAL %				
			ARENA %	LIMO %	ARCILLA %							Cuantitativo %							
MQ1-41208	TRATAMIENTO A	-	21.4	38.2	40.4	Ar	0	1:1	6.560	N.A.	N.A.	N.A.	2.169	2.95	0.29				
MQ1-41209	TRATAMIENTO AB	-	29.7	38.1	32.2	F Ar	0	1:1	6.840	N.A.	N.A.	N.A.	1.147	1.56	0.15				
MQ1-41210	TRATAMIENTO B	-	29.7	42.1	28.2	F Ar	0	1:1	7.100	N.A.	N.A.	N.A.	1.684	2.29	0.22				
No. DE LABORATORIO	FÓSFORO DISPONIBLE mg/Kg	COMPLEJO DE CAMBIO cmol(+)/Kg							S.B. %	ELEMENTOS MENORES DISPONIBLES (mg/kg)					mg/Kg				
		CIC	CICE	Ca	Mg	K	Na	B.T.		Mn (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	B (mg/Kg)	S				
MQ1-41208	102.16	21.077	19.900	16.420	3.260	0.030	0.190	19.900	94.41	30.46	18.35	3.47	5.73	0.73	8.52				
MQ1-41209	109.09	15.457	N.A.	14.860	2.560	0.050	0.260	17.730	SAT	22.77	91.45	2.15	5.93	0.40	8.99				
MQ1-41210	88.05	17.494	N.A.	15.270	3.500	0.090	0.150	19.010	SAT	29.42	96.11	2.66	5.10	0.46	6.99				
No. DE LABORATORIO	Relaciones Cationicas e Interpretación																		
	Ca/Mg	Interpretación	Mg/K	Interpretación	Ca/K	Interpretación	(Ca+Mg)/K	Interpretación (Ca+Mg)/K											
MQ1-41208	5.037	Amplia	108.667	Amplia con deficiencia de K	547.333	Amplia con deficiencia de K	656.000	Amplia con deficiencia de K											
MQ1-41209	5.805	Amplia	51.200	Amplia con deficiencia de K	297.200	Amplia con deficiencia de K	348.400	Amplia con deficiencia de K											
MQ1-41210	4.363	Amplia	38.889	Amplia con deficiencia de K	169.667	Amplia con deficiencia de K	208.556	Amplia con deficiencia de K											



RESULTADOS DE ANÁLISIS QUÍMICO – CARACTERIZACIÓN Q-03
GESTIÓN AGROLÓGICA

FECHA
AAAA-MM-DD
2019-10-10

NOMBRE Y APELLIDO / EMPRESA / PROYECTO DIEGO ARMANDO CARABALI HURTADO TIPO DE MUESTRA SUELO No. SOLICITUD 3992_1
 DEPARTAMENTO / MUNICIPIO / LOCALIZACIÓN Cesar - Valledupar
 SUPLEMENTO DE RESULTADOS DE FECHA _____ DIRECCIÓN DEL CLIENTE TRANSVERSAL 5 B No 45 - 62

No. DE LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO	PROFUNDIDAD (cm)	GRANULOMETRÍA			CLASE TEXTURAL	GRAVILLA %	RELACIÓN DE pH	pH	ACIDEZ INTERCAMBIABLE cmol(+)/Kg	S.A.I. %	CARBONATO DE CALCIO	CARBONO ORGANICO%	CARBONO TOTAL%	NITRÓGENO TOTAL %
			Quantitativo %												
MQ1-38545	GRANJA PILOTO-VEREDA EL CIELO	-	20.0	38.3	41.7	Ar	N.A.	1:1	7.280	N.A.	N.A.	0.91	1.0271	1.4590	0.0968

No. DE LABORATORIO	FÓSFORO DISPONIBLE mg/Kg	COMPLEJO DE CAMBIO cmol(+)/Kg							S.B. %	ELEMENTOS MENORES DISPONIBLES (mg/kg)					mg/Kg
		CIC	CICE	Ca	Mg	K	Na	B.T.		Mn (mg/kg)	Fe	Zn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	B	S
MQ1-38545	55.19	19.670	17.920	12.880	4.410	0.480	0.150	17.920	91.10	28.83	12.59	1.80	2.68	0.12	9.13

No. DE LABORATORIO	Relaciones Catiónicas e Interpretación							
	Ca/Mg	Interpretación	Mg/K	Interpretación	Ca/K	Interpretación	(Ca+Mg)/K	Interpretación (Ca+Mg)/K
MQ1-38545	2.921	Normal	9.188	Amplia	26.833	Amplia	36.021	Amplia con deficiencia de K

Observaciones: