

**EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE LA ESPECIE APIO (*Apium graveolens*)
PARA LA RECUPERACIÓN DE SUELOS DEGRADADOS POR SALINIZACIÓN
CON CARBONATOS**

PRESENTADO POR:

DANNA LICETH REYES VIVIESCAS

ELIZABETH ROCA RÍOS

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
BOGOTÁ, COLOMBIA
2020**

**EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE LA ESPECIE APIO (*Apium graveolens*)
PARA LA RECUPERACIÓN DE SUELOS DEGRADADOS POR SALINIZACIÓN
CON CARBONATOS**

PRESENTADO POR:

DANNA LICETH REYES VIVIESCAS

ELIZABETH ROCA RÍOS

**PROYECTO DE GRADO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO EN INGENIERÍA
AMBIENTAL**

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

ORDENAMIENTO AMBIENTAL DEL TERRITORIO.

DIRECTORA

YENNY BEATRIZ MENDOZA PLAZAS

Agróloga

Msc. Ciencias agrarias con énfasis en suelos y aguas

CODIRECTOR

FRANÇOIS HERRERA JACQUELINE

Biólogo

Msc. Ecología agrícola

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
BOGOTÁ, COLOMBIA
2020**

Nota de aceptación

Presidente del jurado

Jurado

Jurado

Bogotá D.C, 21 de julio de 2020

Agradecimientos

Agradecemos en primer lugar a Dios; a nuestras familias por todo el apoyo recibido de parte de ellas durante este proceso, a la agróloga Yenny Beatriz Mendoza Plazas por su gran cooperación en la búsqueda de información, trabajo en campo y en el desarrollo del proyecto; al biólogo François Herrera Jacqueline por sus aportes de conocimiento en biología estadística; a la ingeniera de alimentos Adriana Patricia Alvarado Flórez por su gran disposición ayudar en el transcurso del desarrollo del proyecto, por el contacto recibido de parte de ella con la Universidad Jorge Tadeo Lozano para la obtención de las plántulas de la especie apio (*Apium graveolens*) y por brindarnos las instalaciones adecuadas para llevar a cabo el desarrollo del cultivo; a Camilo Carranza por el transporte y guía en el municipio de Jerusalén Cundinamarca; y a la Universidad Santo Tomás junto con sus funcionarios por brindarnos las herramientas adecuadas para el desarrollo y culminación de dicho trabajo.

Contenido

LISTAS	V
Lista de tablas	V
Lista de figuras	V
Lista de diagramas	VI
Lista de mapas	VI
Lista de gráficas	VI
Resumen	1
Abstract	2
1. Introducción	3
2. Objetivos	3
2.1. Objetivo general	3
3. Justificación	3
4. Marco teórico	5
4.1. Degradación del suelo	5
4.2. Degradación de suelo por salinización	6
4.3. Manejo de suelos salinos para la recuperación	10
4.4. Biorremediación	10
4.4.1. Fitorremediación para suelos degradados por salinización y tipos de halófitas	12
4.5. Características de la planta <i>Apium graveolens</i>	14
4.6. Plagas y enfermedades que suelen afectar la planta	14
5. Metodología	15
5.1. Etapa 1: Zona y lugar de muestreo	15
5.2. Etapa 2: Montaje, diseño y seguimiento experimental	17
5.3. Etapa 3: Métodos de análisis de suelo	20
5.4. Técnicas para el procesamiento de la información	22
6. Desarrollo central	22
6.1. Procesamiento e interpretación de resultados obtenidos en laboratorio	22
6.1.1. pH en el suelo	22
6.1.2. Conductividad eléctrica en el suelo	23
6.1.3. Materia orgánica	24
6.2. Comportamiento del % <i>CaCO₃</i>	26

6.2.1.	Análisis por regresión lineal simple	28
6.2.2.	Análisis de la dinámica de la reducción en el % CaCO₃	29
6.3.	Tasa promedio de crecimiento en la siembra de apio (<i>Apium graveolens</i>)	33
6.3.1.	Análisis estadístico de la longitud final de raíz en la especie cultivada (<i>Apium graveolens</i>)	38
6.3.2.	Factores externos que afectaron la especie de apio (<i>Apium graveolens</i>)	41
7.	Pertinencia e impacto social	43
8.	Conclusiones	43
9.	Recomendaciones	44
10.	Bibliografía	45
	Anexo A: Procedimientos para determinación de laboratorios	50
A.1.	Determinación de conductividad eléctrica (CE) y pH en suelos	50
A.2.	Determinación de carbonatos totales	50
A.3.	Determinación de densidad real (Ds)	52
A.4.	Determinación de densidad aparente (DA)	53
A.5.	Determinación de humedad (W)	53
A.6.	Determinación de porosidad	54
A.7.	Determinación de materia orgánica	54
A.8.	Determinación de granulométrica por hidrómetro	56
A.9.	Determinación de gravedad específica	57
A.10.	Resultados físicos	58
A.10.1.	Parámetros del suelo densidad aparente (DA) densidad real (Ds) porcentaje de porosidad (%EP)	58
A.10.2.	Humedad del suelo (%W)	59
A.10.3.	Granulometría y textura	61
	Anexo B: Mapas de referencia	64
	Anexo C: Estadística y comportamiento de plantas	67
C.1.	Gráficas de la tasa promedio de crecimiento (TPC) por planta	67
C.2.	Gráficas y análisis comportamiento por planta	68

LISTAS

Lista de tablas

Tabla 1 Clasificación de suelos afectados por sales (USDA, 1954). CE = conductividad eléctrica. PSI = porcentaje de sodio intercambiable.....	8
Tabla 2 Significado agronómico comunes en suelos salinos	8
Tabla 3 Tipos de halófitos.....	12
Tabla 4 Categorías de salinización	16
Tabla 5 Coordenadas de los puntos de muestreo.....	16
Tabla 6 Operación de variables	19
Tabla 7 Métodos de análisis	20
Tabla 8 Valores de pH muestreo Jerusalén-Cundinamarca.....	22
Tabla 9 Condiciones de salinidad por conductividad eléctrica (CEe)	24
Tabla 10 % Materia Orgánica (MO) y su clasificación	25
Tabla 11 Aumento o reducción del %CaCO ₃ por mes	29
Tabla 12 Análisis univariado del %CaCO ₃	30
Tabla 13 Pruebas post hoc %CaCO ₃ por mes.....	32
Tabla 14 Comparaciones múltiples	33
Tabla 15 Análisis univariado TPC	35
Tabla 16 Prueba post hoc TPC por mes	36
Tabla 17 Comparaciones múltiples TPC.....	37
Tabla 18 Estadística descriptiva para la variable de longitud de raíz de las plantas.....	38
Tabla 19 Pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk para variable de longitud raíz de las plantas.....	39
Tabla 20 Análisis univariado Longitud de raíz.....	40
Tabla 21 Prueba post hoc Longitud de raíz por nivel	40
Tabla 22 Resultados (DA) (Ds) (EP)	58
Tabla 23 Granulometría y textura con relación al crecimiento radicular	61
Tabla 24 Descripción plantas Colchón A-1	68
Tabla 25 Descripción plantas Colchón A-2	69
Tabla 26 Descripción plantas Colchón B-1	70
Tabla 27 Descripción plantas Colchón B-2	71
Tabla 28 Descripción plantas Colchón M-1.....	72
Tabla 29 Descripción plantas Colchón M-2.....	73

Lista de figuras

Figura 1 Recolección de suelos punto 1	16
Figura 2 Vegetación de la zona punto de muestreo 1	17
Figura 3 Recolección de suelos punto 2	17
Figura 4 Recolección de suelos punto 3	17
Figura 5 Siembra y distribución de montaje	18
Figura 6 Diseño experimental	19

Lista de diagramas

Diagrama 1 Montaje experimental de cultivo	20
Diagrama 2 Determinación de pH y conductividad eléctrica (CE)	50
Diagrama 3 Medición de carbonatos en el suelo.....	51
Diagrama 4 Determinación de densidad real	52
Diagrama 5 Humedad del suelo por el método gravimétrico	54
Diagrama 6 Materia orgánica (MO).....	55
Diagrama 7 Granulometría	57
Diagrama 8 Gravedad específica.....	58

Lista de mapas

Mapa 1 Localización puntos de muestreo Jerusalén-Cundinamarca.....	64
Mapa 2 pH Jerusalén-Cundinamarca.....	65
Mapa 3 Saturación de bases suelos Jerusalén-Cundinamarca.....	66

Lista de gráficas

Gráfica 1 Variación del % materia orgánica (MO)	25
Gráfica 2 Promedio %CaCO ₃ por cochón	26
Gráfica 3 %CaCO ₃ en el tiempo por niveles	27
Gráfica 4 %CaCO ₃ testigo Vs final de la aplicación del experimento (febrero).....	27
Gráfica 5 Regresión lineal simple nivel Alto	28
Gráfica 6 Regresión lineal simple nivel medio.....	28
Gráfica 7 Regresión lineal simple nivel bajo.....	29
Gráfica 8 Medias marginales estimadas de %CaCO ₃	31
Gráfica 9 Medias marginales estimadas de %CaCO ₃	32
Gráfica 10 Medias marginales estimadas de %CaCO ₃	33
Gráfica 11 Tasa promedio de crecimiento en plantas por nivel	35
Gráfica 12 Medias marginales estimadas de TPC por mes.....	37
Gráfica 13 Medias marginales estimadas de TPC por nivel	38
Gráfica 14 Histograma para variable de longitud de la raíz en plantas.....	39
Gráfica 15 Diagrama de cajas de la longitud de raíz de las plantas por colchón	39
Gráfica 16 Medias marginales estimadas de Longitud de raíz por nivel	41
Gráfica 17 Mortalidad por mes.....	41
Gráfica 18 Mortalidad para el mes de octubre	42
Gráfica 19 Mortalidad para el mes de octubre	42
Gráfica 20 %Afectación pulgón febrero.....	42
Gráfica 21 %Afectación pulgón enero.....	42
Gráfica 22 %Afectación pulgón diciembre.....	42
Gráfica 23 %Afectación pulgón por mes	42
Gráfica 24 % Humedad (W) nivel alto	59
Gráfica 25 % Humedad (w) nivel bajo.....	60
Gráfica 26 % Humedad (W) nivel medio	60
Gráfica 27 Tasa promedio de crecimiento en plantas colchón A-1.....	67

Gráfica 28 Tasa promedio de crecimiento en plantas colchón A-2.....	67
Gráfica 29 Tasa promedio de crecimiento en plantas colchón B-1.....	67
Gráfica 30 Tasa promedio de crecimiento en plantas colchón B-2.....	67
Gráfica 31 Tasa promedio de crecimiento en plantas colchón M-1	67
Gráfica 32 Tasa promedio de crecimiento en plantas colchón M-2	67

Listado de Símbolos y abreviaturas

Símbolo	Término
m^3	Metro Cúbicos
$msnm$	Metros sobre el nivel del mar
ha	Hectárea
%	Porcentaje
mS/cm	miliSiemens por centímetro
ppm	Partes por millón
g/L	Gramos de soluto por litro de solución
me/L	Miliequivalente del compuesto por litro de solución
DBO_5	Demanda Biológica de Oxígeno en 5 días
DQO	Demanda Química de Oxígeno
SST	Sales solubles totales
$^{\circ}C$	Grados centígrados
mL	Mililitros
m	Metros
cm	Centímetros
g/cc	Gramos sobre centímetro cúbico
g	Gramos
$\Delta w/t$	Variación del crecimiento en el tiempo
dS/m	desiSiemens sobre metro
$mmho$	Micro Ohmio
Abreviatura	Término
A	Nivel alto
B	Nivel bajo
M	Nivel medio
$M1$	Muestra tomada en campo nivel bajo
$M2$	Muestra tomada en campo nivel alto
$M3$	Muestra tomada en campo nivel medio
$USDA$	United States Department of Agriculture
pH	Potencial de Hidrogeno
CE	Conductividad Eléctrica
Ds	Densidad real
DA	Densidad Aparente
W	Humedad
EP	Porosidad
MO	Materia Orgánica
Gs	Gravedad específica
$IGAC$	Instituto Geográfico Agustín Codazzi
CAR	Corporación Autónoma Regional

<i>ICA</i>	Instituto Colombiano Agropecuario
<i>CE</i>	Conductividad eléctrica
<i>TDS</i>	Sólidos Disueltos Totales
<i>CIAT</i>	Centro Internacional de Agricultura Tropical
<i>POT</i>	Plan de Ordenamiento Territorial
<i>POMCAS</i>	Plan de Ordenación y Manejo de Cuencas
<i>FAO</i>	Food and Agriculture Organization
<i>IDEAM</i>	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
<i>MADS</i>	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
<i>UDCA</i>	Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales
<i>SPSS</i>	Statistical Package for the Social Sciences
<i>ANOVA</i>	ANalysis Of VAriance
<i>INV</i>	Instituto Nacional de Vías

Resumen

En el presente estudio se tomaron muestras de suelo del municipio de Jerusalén-Cundinamarca, ya que este presenta suelos con condiciones de salinidad severa y alta, el pH del suelo oscila entre 7,5-8,4, adicional a esto se identificó un 47.1% de suelo calcáreo. En los suelos muestreados fue evaluada la capacidad del apio (*Apium graveolens*) para eliminar los carbonatos, en donde se realizó un diseño experimental por niveles de salinidad *alto*, *medio* y *bajo*; fueron analizados 6 colchones, 2 para cada nivel y sus respectivos testigos. En cada uno se sembraron 8 plántulas para un total de 48, la toma de muestras se llevó a cabo los días 7 de cada mes durante los 4 meses de estudio. Se realizaron análisis fisicoquímicos para cada nivel de salinidad tales como *pH*, *CE* (Conductividad eléctrica), *DA* (Densidad aparente), *Ds* (Densidad específica), *%EP* (Porosidad), *%W* (Humedad), *%MO* (Materia orgánica), *textura y concentración de %CaCO₃*; también se hizo seguimiento a las características físicas de las plantas como crecimiento del tallo, crecimiento radicular, apariencia física de las hojas, cambio de color y presencia de plagas.

El método utilizado para el cálculo del *%CaCO₃* fue el de carbonatos totales, mediante el análisis multivariado se evidenció que no se presentan tendencias claras respecto al tiempo y los niveles; pero si se evidencia incrementos entre las concentraciones, en donde el análisis univariado de varianza es significativo para la variable *presencia de plantas* con 0.056 aceptando la hipótesis alternativa.

De lo anterior se concluyó, que el mejor nivel de desarrollo para la especie de apio (*Apium graveolens*) obedece al nivel de salinidad medio, debido a su adaptabilidad en el suelo salino; por otra parte, no se presentan reducciones en las concentraciones de *%CaCO₃* en los niveles de salinidad analizados.

Palabras clave: Salinidad, características físicas, recuperación y apio (*Apium graveolens*).

Abstract

In the present study, soil samples were taken from the municipality of Jerusalén, Cundinamarca, since it presents soils with conditions of severe and high salinity, and pH as high between 7.5-8.4. In addition to this, 47.1% of the soil was identified calcareous. In the sampled soils, the ability of celery (*Apium graveolens*) to remove carbonates was evaluated, where an experimental design was carried out for high, medium and low salinity levels; 6 mattresses were analyzed, 2 for each level and their respective controls. In each one, 8 seedlings were sown for a total of 48, the sampling was carried out on the 7th of each month during the 4 months of study. Physicochemical analyses were performed for each salinity level such as pH, CE (Electrical Conductivity), DA (Bulk Density), Ds (Specific Density), % EP (Porosity), % W (Humidity), % MO (Organic Matter), texture and concentration of %CaCO₃; plant physical characteristics such as stem growth, root growth, the physical appearance of the leaves, colour change and presence of pests were also followed up.

The method used to calculate the %CaCO₃ was total carbonates, through multivariate analysis it was evidenced that there are no clear trends with respect to time and levels; but if there is evidence of increases between the concentrations, where the univariate analysis of variance is significant for the variable presence of plants with 0.056 accepting the alternative hypothesis.

From the above, it is concluded that the best development level for the celery species (*Apium graveolens*) is due to the average salinity level, as a result of its adaptability in the saline soil; on the other hand, there are no reductions in the concentrations of %CaCO₃ in the salinity levels analyzed.

Keywords: Salinity, physical characteristics, recovery, and celery (*Apium graveolens*).

1. Introducción

Este trabajo de investigación presenta la evaluación del potencial de reducción de la salinización en suelos a partir de la siembra de la especie de Apio (*Apium graveolens*) variedad ventura, en un cultivo en condiciones de laboratorio con el fin de identificar las posibilidades de que la especie pueda ser implementada para la recuperación de suelos característicos por contener sales de tipo carbonatos denominados calcáreos.

Para el diseño experimental se tuvieron en cuenta dos elementos importantes, mencionados a continuación, los puntos de recolección de las muestras de suelo en campo, las cuales se obtuvieron con ayuda de información secundaria, esto mediante la identificación de las zonas que presentan niveles altos de saturación de bases en mapa de saturación de bases del estudio susceptibilidad de salinización de suelos en Colombia (IDEAM-MADS-UDCA), y la determinación de variables características del suelo como lo son sus análisis físicos y químicos realizados en laboratorio, determinando así las relaciones existentes en cada una de estas variables con relación al crecimiento y evolución de la planta, así mismo, el manejo del cultivo.

La relación existente entre el comportamiento del cultivo con la posible disminución del contenido de carbonatos y llegar a las determinaciones mediante modelos estadísticos cualitativos y cuantitativos, como el procesamiento de datos por medio de regresión lineal simple, análisis de varianza (ANOVA) y Tukey.

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

Evaluar el potencial de la especie Apio (*Apium graveolens*) para la recuperación de suelos degradados por salinización con carbonatos.

2.2. Objetivos específicos

Caracterizar el tipo de salinización del suelo en el municipio de Jerusalén Cundinamarca.

Determinar los posibles cambios en la concentración de sales del suelo debidos al cultivo de la especie apio (*Apium graveolens*).

Identificar las condiciones óptimas de salinidad para el desarrollo del cultivo de la especie apio (*Apium graveolens*).

3. Justificación

La salinización en los suelos de Colombia es un problema ambiental que va en aumento al transcurrir del tiempo, la salinidad en los suelos es un factor determinante en la degradación y desertificación, esta puede darse en condiciones

naturales por el material geológico del terreno que tenga altos contenidos de sales, sin embargo la mayor afectación se atribuye a acciones antrópicas que tienen como consecuencias importantes la disminución de la producción agrícola, de la biodiversidad de especies y la pérdida de la fertilidad. [1]

Los suelos salinos se conocen por tener una alta concentración de sales, dentro de las cuales predomina mayormente el calcio (Ca^{2+}), esta condición de salinidad se presenta en los suelos cuando el agua de riego posee grandes cantidades de sales disueltas por lo que se acumulan en los cultivos en altas concentraciones. [1]

El deterioro de los suelos por salinidad representa aproximadamente 879 millones de hectáreas que poseen algún grado de degradación a nivel mundial. [2] Este valor aumenta cada año, ya que la salinización junto con la modicidad está ocasionando que se dejen de cultivar de 0.3 a 1.5 millones de hectáreas de tierras agrícolas por año y presentan una disminución en el potencial de cultivo entre 20 y 46 millones de hectáreas más. [2] También se estima que 60 millones de hectáreas de tierras de regadío se ven afectadas por la salinidad del suelo en el mundo.

En Colombia estudios tendenciales indican que este problema avanza rápidamente, teniendo en cuenta la susceptibilidad de los suelos y a la degradación por salinidad, se destaca que las zonas que poseen gran potencial de producción agrícola se encuentran listadas como territorios con alta susceptibilidad a la degradación por salinización, como es el caso del Valle del Cauca, la región Caribe, algunas áreas socioeconómicas de la región Andina, el Valle del Magdalena y el Valle del Cauca. [3]

Sin embargo, existen soluciones que llegan a mitigar el daño causado al suelo por acciones antrópicas, como es el caso de la biorremediación mediante la incorporación de compost mesófilo y enmienda inorgánica, alternativas de recuperación por biofertilizantes, biopolímeros y electromagnetismo, cultivos de pastos forrajeros, estas son algunas soluciones que se han presentado para recuperar los suelos y aumentar de nuevo la capacidad de uso del suelo.[4][5]

Con el fin de ofrecer una solución a la degradación de los suelos por el uso de fertilizantes y malas técnicas de riego en la agricultura como la utilización para este fin con agua de fuentes superficiales contaminadas y aguas subterráneas con altos contenidos de sales, se presentan diversas alternativas de recuperación a nivel mundial, sin embargo en este proyecto se plantea utilizar especies halófilas que sirvan como recuperadoras de los suelos afectados, ya que estas cuentan con la capacidad para vivir en ambientes caracterizados por poseer algún tipo de contenido de sales, como lo es la especie apio (*Apium graveoles*). la cual se implementó en un experimento de laboratorio en condiciones controladas con el fin de determinar la capacidad de absorción de sales. Por lo tanto, este proyecto tiene como fin identificar el potencial de este tipo de planta halófita para reducir la degradación de suelos mediante su cultivo y llegue a ser implementada en futuras

oportunidades para la restauración de algún tipo de suelo que posea estas características de degradación.

4. Marco teórico

El suelo se define como un cuerpo natural compuesto por macroorganismos y microorganismos sólidos orgánicos e inorgánicos, líquidos y gases, se caracteriza por contener adiciones y pérdidas en capas, también ocurren procesos de flujo de transferencia y transformación de materia y energía llevando a cabo reacciones biogeoquímicas dándole complejidad y dinamicidad. [6]

El suelo es de vital importancia para el territorio y las culturas ya que son el soporte de la vida y por consiguiente a las actividades humanas garantizando de esta manera los derechos ambientales de las generaciones. [4][7]

Adicionalmente el suelo debe ser visto en su forma sostenible, es decir, social ambiental, económica, política y cultural, estos servicios, funciones son clasificadas en cuatro grupos como lo son provisión, regulación, culturales y de soporte. [4][7]

La pedosfera es el resultado de diversas interacciones entre la atmósfera, la hidrosfera, la litosfera y la biosfera, entre las reacciones químicas en el suelo son: [6]

Adsorción/desorción: La adsorción remueve un producto químico atraído de una solución acuosa por medio de una superficie, mientras que la desorción libera un producto químico atraído del sólido a un líquido.

Precipitación/disolución: La precipitación es el cambio de una sustancia química de una solución a un sólido mientras que en la disolución es, al contrario.

Inmovilización/mineralización: La inmovilización es la captación de sustancias químicas a alguna estructura celular asociado a procesos biológico mientras que la mineralización es la transformación (degradación, liberación o conversión) de un producto químico.

Oxido/reducción: Gracias a la ganancia o pérdida de electrones de un elemento causa cambios físicos o estructura molecular.

Complejación/disociación: En la complejación es la ganancia y pérdida de los iones de hidrógeno, mientras que la disociación acepta y pierde un protón por un ion ácido o molécula.

Disolución / volatilización: Ocurren con las reacciones entre el suelo y la atmósfera

4.1. Degradación del suelo

Según el IDEAM en el año 2014 la degradación del suelo hace referencia a la alteración negativa en donde se ve afectada la oferta de servicios ecosistémicos

que puede ser ocasionada por acciones naturales o antrópicas; ocurre por diversos tipos como lo son: [8][9]

Causas químicas: ocurre la alteración de diversas características propias del suelo entre ellas el desequilibrio geoquímico, la contaminación, la acidificación, la salinización que lleva a la alcalinización, pérdida de nutrientes, la disminución de capacidad de retención de nutrientes y la acumulación de iones, por estas causas se puede llevar a consecuencias como la degradación física causando cambio en su estructura, pérdida del contenido de materia orgánica. y la salinización.

Causas biológicas consiste básicamente en la reducción de biomasa del suelo, pérdida de la materia orgánica y reducción de microfauna y macrofauna. Es un aspecto relevante el ciclo biogeoquímico del carbono, el carbono orgánico puede llegar a ser superado por el inorgánico.

Causas físicas la compactación que lleva como consecuencia la disminución de la infiltración espacios porosos y al sellamiento superficial, y la erosión que puede ser causada por el viento, por fuentes hídricas, pluviales, fluviales o costero-marina deslizamientos de tierra y material rocoso. Esto tiene consecuencias en la meteorización de ciertas rocas haciendo aportación a suelos salinos.

4.2. Degradación de suelo por salinización

Este tipo de suelos contienen elevadas concentraciones de sales solubles es una de las causas de pérdida de la capacidad productiva del suelo, se puede evidenciar que se afecta el crecimiento de las plantas. [3]

Se origina mediante los desgastes geoquímicos de las rocas ígneas (salinas) que forman los estratos superiores de la corteza, son acumuladas en rocas sedimentarias, el suelo y el agua; este proceso también es llamado salinización primaria. [3]

Las diversas reacciones que anteriormente han sido descritas llevan a la generación de sales como la disolución congruente donde los productos de la solución posee la misma cantidad contenida en el mineral (Cloruros, sulfatos y algunas sales de carbonato); la disolución incongruente donde se disuelven algunos minerales y deja a su paso una fase sólida siendo diferentes del mineral de origen; el clima es bastante importante para llevar a cabo el proceso de mineralización debido a que lleva la transformación de los minerales y el desplazamiento de las sales solubles por medio de la escorrentía y la percolación mientras que en los climas secos, áridos y semiáridos donde la evaporación tiende a ser mayor que la precipitación se limita el movimiento de las sales generando así mismo concentraciones elevadas de sales en el suelo; la elevación de los mares a través del tiempo geológico lleva como consecuencia la formación de estratos salinos subyacentes denominadas sales fósiles; aproximadamente el 10% al 25% de la salinidad en suelos de tierras áridas en la costa son como consecuencia las interacciones entre la atmósfera y el mar debido al desplazamiento de las masas de aire; y por último las consecuencias de las actividades antrópicas como lo es el

aumento de la carga de contaminantes como causa de la industrialización se encuentra el incremento del nitrógeno y compuestos de azufre conllevando a la lluvia ácida y como consecuencia la meteorización de minerales en un tiempo acelerado; en el mundo el 20% las tierras irrigadas tienen como consecuencia problemas de salinidad debido a que el agua captada para tal fin se ha tomado de ríos, los cuales bien sea por contaminación o por sales fósiles poseen algún grado de contenido de sales solubles lo que causa la afectación directa del suelo, otras de las consecuencias, también la adición excesiva de enmiendas o fertilizantes. [2] [10]

En Colombia estos procesos de degradación por salinización se presentan principalmente por factores sociales, económicos y culturales teniendo como consecuencia la sobre explotación de los recursos y las prácticas inadecuadas de manejo del suelo y del agua. Los procesos de salinización que se desarrollan en el territorio son de carácter antrópico como aplicación excesiva de fertilizantes, inundaciones con fuentes salinas, adición excesiva de enmienda, riegos con aguas con altos contenidos de sal, vertimiento de aguas servidas y/o residuales industriales o minerales; y procesos naturales como sequías y climas áridos, avenamiento que generan oxidación de azufre y erosión que permite el afloramiento de horizontes o capas salinas. Reduciendo así mismo el rendimiento agrícola y afectando los servicios ambientales que el suelo proporciona. [2] [11]

En Colombia el 2.5% de suelos presentan degradación por salinización muy severa y severa principalmente en los departamentos del Magdalena, Atlántico, Cesar y la Guajira; el 7.8% es moderada; y un 12% de área continental e insular presenta algún tipo de grado de salinización. Mientras que el 5% de suelos presenta probabilidad muy alta y alta de degradación por salinización, como lo es el caso de La Guajira, Atlántico, Magdalena, Sucre y Córdoba donde se presenta más de un 30% de probabilidad y el Cesar de 27%; el 7.6% probabilidad moderada en corto plazo; el 32% presenta probabilidad baja donde se desarrolla el sector agropecuario como lo es el caso de la Orinoquia y parte del piedemonte de la Amazonia; en total el 45% del área continental e insular presenta algún grado de amenaza principalmente en los climas áridos, secos y subhúmedos secos. [12]

Los suelos salinos se localizan en la región Caribe, en los valles altos de los ríos Magdalena y Cauca, en zonas de presiones del altiplano cundiboyacense y en las zonas áridas del país. Los casos evidentes que afectan son los cultivos de caña de azúcar en el Valle del Cauca, los cultivos de arroz en los distritos de riego del Tolima y Huila, las zonas algodonerías de Cesar y Córdoba, o los suelos sulfatados ácidos de la cuenca alta del río Chicamocha.[2]

En Colombia se han establecido estrategias de manejo sostenible de suelos, como lo son las medidas de prevención dirigidas al grado ligero y muy ligero las cuales se caracterizan por evitar el incremento de nivel realizando la planificación del territorio con la información del estado del suelo (POT, POMCAS y planes de

desarrollo municipal) y la identificación de los conflictos de usos del suelo; mitigación dirigidas al grado moderado donde se realiza análisis de laboratorio para diseños de planes de fertilización y caracterización de la calidad del agua de riego, enmiendas y monitoreos; rehabilitación y restauración dirigidas al grado severo y muy severo donde se deben identificar modelos y técnicas de rehabilitación o recuperación, realizando tratamiento de aguas de riego, utilización de cultivos resistentes a la salinización y las condiciones ambientales del lugar; medida de adaptación para las características ambientales del lugar, realizando modificaciones de riego a formas más eficientes que disminuyan la acumulación, usar especies cultivables que sean tolerantes a periodos de sequías, contenidos elevados de sales y uso más eficiente de los nutrientes. [11]

▪ Tipos de suelos salinos

Según la USDA en 1954 define este tipo de suelos como los que presentan concentraciones excesivas de sales solubles, sodio intercambiable o ambos, afectando directamente la productividad, en la tabla 1 podemos observar la clasificación de estos suelos [13]:

Tabla 1 Clasificación de suelos afectados por sales (USDA, 1954). CE = conductividad eléctrica. PSI = porcentaje de sodio intercambiable.

Suelo	pH	CE dS/m)	PSI (%)	Definición
Normal	6 a 7	<2	<15	
Salino	< 8.2	>4	<15	En la zona radicular posee una cantidad de sales disueltas en el suelo, se puede evidenciar costras blancas en superficie.
Sódico	> 8.2	<4	>15	En la zona radicular contienen sodio adsorbido por el complejo, restringen el crecimiento normal de plantas, mala permeabilidad y alta de floculación de partículas.
Salino - Sódico	> 8.2	>4	>15	Es el resultado de los procesos anteriormente mencionados, se afecta el crecimiento notable de los cultivos.

Fuente: USDA, 1954 modificada por autores.

En la tabla 2 se puede evidenciar Según Richards en 1954 se clasifica de la siguiente manera la salinidad por conductividad:

Tabla 2 Significado agronómico comunes en suelos salinos

Clasificación	Significado agronómico
No salino	Efecto de salinidad nulo
Poco salino	Los rendimientos de los cultivos más sensibles pueden ser restringidos

Clasificación	Significado agronómico
Moderadamente salino	Se reducen los rendimientos de muchos cultivos
Muy salino	Sólo los cultivos halófitos rinden satisfacción
Extremadamente salino	Solo los cultivos muy tolerantes rendirán satisfacción.

Fuente: Bingham, Frank (1984 y modificado por autores)

▪ Carbonatos y bicarbonatos en el suelo

Medina en 1997, asegura que este tipo de sales son derivados de ácido carbónico (H_2CO_3)₂ las cuales se encuentran más presentes en los suelos salino-sódicos en los más comunes se encuentran sales tales como: [6][14]

La magnesita ($MgCO_3$) es poco común encontrarla en suelos superficiales debido a su alta solubilidad y poca resistencia a la meteorización.

La dolomita ($CaMg(CO_3)_2$)

La siderita ($FeCO_3$) es muy poco común y es formada mediante acciones de reducción.

Carbonato de potasio (K_2CO_3) es de baja solubilidad (0.013 g/L) y se considera que su toxicidad no es dañina para las plantas en su gran mayoría.

Calcita $CaCO_3$ es la más común en los suelos; el calcio (Ca^{2+}) es uno de los elementos esenciales para las plantas y los animales, en los subsuelos de las regiones áridas y semiáridas precipita como calcita y suelen formarse capas induradas denominadas caliche, esta precipitación se ve afectada por el movimiento del agua, la producción de CO_2 de actividad biológica y la pérdida del agua por evaporación o transpiración.

Los carbonatos de calcio representan una parte importante en la estructura de los suelos siendo esta la principal fuente de calcio en los suelos, estos se pueden encontrar en pequeños terrones hasta polvo fino, la presencia de estos permite tener una buena actividad microbiana, sin embargo, el exceso de carbonatos en el suelo puede causar problemas de nutrición en las plantas. [15]

▪ Efecto sobre la productividad agrícola

La salinidad tiene como consecuencia algunos daños directos como la afectación sobre los cultivos agrícolas, la toxicidad y el deterioro de algunas capas de los suelos. Uno de los problemas de la salinidad en las plantas es el efecto negativo sobre el potencial osmótico, afecta la producción de materia seca y afecta directamente el crecimiento de las plantas el cual depende de la adaptabilidad y de la especie debido a las afectaciones sobre el rendimiento, la evapotranspiración, la respiración estomática y el potencial hídrico. [10]

En los suelos salino-sódicos se evidencia que las aguas solubles se convierten en un problema para la absorción de los nutrientes en la vegetación, según la FAO en 1986 afirma que este tipo de suelos es de difícil manejo con una productividad baja, como el carbonato genera una translocación y dispersión, generando el deterioro de la capa superficial del suelo evidenciando grietas en tiempo seco y encharcamientos en tiempo de lluvia. [16]

4.3. Manejo de suelos salinos para la recuperación

La recuperación de los suelos salinos se lleva a cabo con el fin de recuperar la capacidad de producción de este, con la ayuda de acciones mecánicas tales como la labranza, barbecho profundo siendo favorable para la aireación y descomposición del suelo; mejoradores químicos como enmiendas con yeso ($CaSO_4$) aplicándose uniformemente con una característica muy fina y un grado de pureza alto antes de plantarse, cuando los suelos tienen presencia de calcio insoluble, como carbonato de calcio ($CaCO_3$) se recurre a enmiendas con azufre (S) o ácido sulfúrico (H_2SO_4) lo que hace que la reacción desprenda (CO_2) y se produce ($CaSO_4$) el cual reacciona con el sodio adsorbido; biológicos como lo son las enmiendas orgánicas y biorremediación algunas bacterias aportan azufre al suelo generando la anterior reacción de oxidación mencionada, hidro técnico como lavados con agua para favorecer la lixiviación afirma la FAO, teniendo en cuenta la calidad de la misma para evitar que las propiedades del suelo puedan ser afectadas, también se debe tener en cuenta la distribución de sales, el nivel freático y las condiciones de drenaje del suelo; las técnicas son definidas por las características del suelo afectado.[16] [17] [18]

4.4. Biorremediación

El significado de biorremediación da lugar a aquel proceso que utilice microorganismos, hongos, plantas o enzimas, el cual cumple con el objetivo de otorgar una mineralización o transformación parcial que contribuye a la recuperación de la naturaleza la cual ha sido atacada por contaminantes específicos en el suelo. [13]

A este lento desarrollo denominado biorremediación cuya finalidad es darle una solución a problemas de contaminación y degradación ambiental, fue descubierto por primera vez por el microbiólogo Claude E. Zobell en 1942, el efecto de los microorganismos con relación en las sustancias químicas, geológicas y procesos biológicos en el océano, corrosión microbiana, microbiología del petróleo, adhesión de microbios a las superficies, efectos de la presión sobre las bacterias, así como microbiología de las profundidades y trincheras".[8] [9]

La biorremediación es utilizada con el fin de revertir un daño ambiental esto se da gracias al efecto que causan algunos organismos vivos al descomponer con una alta eficiencia algunos compuestos orgánicos, es de gran importancia recalcar que los ecosistemas son altamente capaces de recuperarse, sin embargo, esta

recuperación puede tardar bastante tiempo, es por esto por lo que fue necesario crear esta nueva alternativa de recuperación ambiental. [19]

Existen diversas técnicas de biorremediación las cuales se clasifican de acuerdo con el tratamiento y la fase utilizada, una de las técnicas anteriormente mencionada corresponde a la biorremediación in situ, la cual hace referencia al tratamiento que se da al suelo en el lugar donde se encuentra la alteración de este y la biorremediación ex situ correspondiente a la toma de muestra del suelo contaminado que posteriormente es trasladado al lugar donde se lleva a cabo el tratamiento. [20]

Es importante mencionar que existen dos estrategias que otorgan solución al ecosistema, una de ellas es añadir nutrientes al suelo con el fin de estimular las poblaciones naturales y de esta manera aumentar su actividad y la segunda es la introducción de microorganismos exógenos como forma de biorremediación. [21]

Los microbios son capaces de metabolizar una gran variedad de compuestos químicos, para este caso de biorremediación se habla específicamente de contaminantes ambientales, sin embargo, es importante tener en cuenta que los microbios también descomponen azúcares, proteínas y grasas los cuales se denominan alimentos, unos de los contaminantes tratados por estos organismos incluyen los hidrocarburos (petróleo y sus derivados), pesticidas, TNT (dinamita), y el uranio. En algunos casos estos contaminantes se pueden convertir en subproductos inofensivos, como lo es el dióxido de carbono y el agua. [22]

Existen tres tipos de biorremediación definidos así: degradación enzimática, remediación microbiana, fitorremediación.

La degradación enzimática en el sitio contaminado del tratamiento, estas tienen el objetivo de degradar las sustancias que están afectando el suelo, producidas mediante bacterias transformadas genéticamente. [23].

En la remediación microbiana se destaca el uso de microorganismos que se añaden directamente en sitio donde se encuentra la contaminación, existen bacterias y hongos que degradan con gran facilidad contaminantes como el petróleo y sus derivados, benceno, tolueno, acetona, pesticidas, herbicidas, ésteres, alcoholes simples, entre otros, en ocasiones pueden degradar con mayor dificultad otros compuestos químicos como el PCB (bifenilo policlorado), arsénico, selenio y el cromo. Algunos metales pesados como el uranio, cadmio y mercurio no son biodegradables, pero algunas bacterias pueden concentrarse de tal forma que los aíslan para que se puedan eliminar de una forma más eficiente y rápida. [24]

La fitorremediación corresponde al uso de plantas que ayudan con la recuperación de ambientes contaminados, mediante la remoción, transferencia y estabilización

del suelo, lodos y sedimentos, en relación con esta alternativa se indica que se encuentra en vía de desarrollo. [25]

4.4.1. Fitorremediación para suelos degradados por salinización y tipos de halófitas

Las plantas halófitas se han definido como aquella que es capaz de crecer en condiciones donde los hábitats son salinos y mejor descrito es un tipo de flora que nativa de suelos salinos. En la tabla 3 se evidencia los tipos.

Tabla 3 Tipos de halófitos

Tipos de halófitos	Características y ejemplos
<i>Sal excluyendo</i>	En estas plantas, el sistema radicular posee un mecanismo de ultrafiltración y esta característica lleva al establecimiento de tales especies como el componente dominante de la vegetación del manglar.
<i>Excretando sal</i>	Estas plantas regulan los niveles internos de sal a través de las glándulas foliares.
<i>Acumulando sal</i>	Acumulan altas concentraciones de sal en sus células y tejidos y superan la toxicidad de la sal desarrollando una succulencia.

Fuente: Mirza Hasanuzzaman

En 1990 se publicó un estudio realizado por la University of Agriculture, Faisalabad (Pakistan) con un periodo de tiempo de 3 años se evaluaron cinco tratamientos, tres cultivos involucrados sesbania (*Sesbania aculeata*), sordan (*Sorghum bicolor* x *Sorghum sudanese*) y pasto kallar (*Leptochloa fusca*) regadas con agua de baja concentración de electrolitos donde se concluyó que Sesbania y el pasto kallar son especies efectivas para la recuperación del suelo salino-sódico calcáreo reduciendo significativamente la CE y SAR. [26]

Para el año 1991 Zao Ke-Fu realizó un estudio por 120 días con *Suaeda salsa* donde se cultivó en suelo salino en macetas a una profundidad de 20-30 cm y se regó con una solución de *NaCl* que contenía 0.2 g de NaL^{-1} . Y se concluyó que se redujo 4.5% a una densidad de 15 plantas/ m^2 y aumento un 3.8% con suelo desnudo siendo un absorbente de sal efectivo en suelo salino.[27]

Para el año 2001 M Qadir et al realizaron un estudio durante tres años con arroz (*Oryza sativa* L.) y cultivos de trigo (*Triticum aestivum* L.) los cuales fueron cultivados en rotación con el fin de ayudar a disolver el $CaCO_3$ para suministrar el Ca^{2+} sin la aplicación de enmiendas en el suelo salino-sódico calcáreo y se realizó riego con agua subterránea salina-sódica. Obtuvieron como resultado que el tratamiento con trigo indicó un efecto comparable de mejoramiento del suelo de la fitorremediación [10]

K.C Ravindran et al en el año 2003 realizaron una investigación en campo durante 5 años con *Leptochloa fusca* (L.) Kunth (hierba kallar) sobre las propiedades

químicas de un suelo salino sódico regado con agua subterránea de baja calidad donde se evidenció una reducción de carácter exponencial de salinidad, la sodicidad y el pH. Tanto la salinidad del suelo como el pH del suelo se correlacionaron significativamente con K , Cl , HCO_3 , Na^+ , Mg^{2+} y Ca^{2+} y la relación de adsorción de sodio (SAR) concluyendo que los resultados se evidenciaron a partir de los 3 años de experimentación y poder ser sostenibles para la mejora biológica de tierras baldías salinas. [28]

Ravindran et al. en el 2007 pudieron observar en un estudio que hierba salada (*S. marítima*) y verdolaga de playa (*S. portulacastrum*) tuvieron mayor acumulación de sales en sus tejidos y reducción de sales en el suelo salino. Se obtuvieron resultados de eliminación de sales de 504 y 474 Kg de $NaCl$ respectivamente de 1 ha por cuatro meses. [23]

Rabhi et al. Realizó un estudio para el año 2009 donde se tomaron plántulas de sosa jabonera (*Arthrocnemum indicum*), sosa prima (*Suaeda fruticosa*) y Verdolaga de playa (*Sesuvium portulacastrum*) y se sembraron en suelo salino se obtuvieron resultados favorables donde se redujo la salinidad principalmente iones de sodio. En especial *Sesuvium portulacastrum* acumuló el 30% del contenido de ion sodio en los brotes donde disminuyó la sodicidad y salinidad del suelo. [29]

En el año 2014 la revisión bibliográfica publicada en la *Bio Med Research International* habla sobre el potencial de plantas halófitas para la remediación de suelos salinos, con el fin de ser utilizadas en estos hábitats para el cultivo de estas y la remediación de dichos suelos. Algunas de las plantas son Barba roja (*Aster tripolium*), Armoles (*Atriplex hortensis*), perejil silvestre (*Batis marítima*), hierba de cucharas (*Cochlearia officinalis*), col marina (*Crambe Maritima*), las cuales son utilizadas para consumo humano. Y como conclusión se obtuvo que la fitorremediación siempre ha sido una estrategia eficiente para la recuperación de suelos salinos sódicos y sódicos calcáreos con un rendimiento comparado a enmiendas Químicas. [30]

Yaning Li et al en el año 2015 utilizaron dos especies comunes de árboles *Ailanthus altissima* S. y *Ulmus pumila* L. con un experimento de maceta con suelo salino (Na^+) durante 3 años, regadas dos veces por semana con agua corriente, donde se evidenció que las dos plantas tuvieron muy buenos resultados con más acumulación de Na^+ se evidenció en *Ailanthus altissima* S de -26%, -29% y -27%.respectivamente y en *Ulmus pumila* L. de -17%, -12% y -174. Y los resultados globales obtenidos de K^+ , N , y P en el experimento acumuló el 70% 10% y 20% en tronco, ramas y hojas respectivamente; respecto a Na^+ , Mg^{2+} y Ca^{2+} el 60%, 25% y 15% en tronco, ramas y hojas respectivamente.[31]

Por otra parte, en Colombia se han venido incrementando los estudios realizados respecto a la biorremediación de suelos gracias a los estudios realizados por el Dr. Claude E. Zobell se abren nuevos campos de investigación en la biología y ecología, no obstante el desarrollo de estas investigaciones no presentan grandes

resultados y avances debido a que posee elevados costes y muchas veces el resultado no es el esperado, haciendo referencia al caso puntual de la biorremediación con plantas, el cual ha demostrado que funciona parcialmente debido a que no es muy eficiente tratando grandes cantidades de contaminación ni grandes cantidades de terreno. [32]

4.5. Características de la planta *Apium graveolens*

El apio botánicamente es clasificado como *Apium graveolens*, familia *Umbelliferaae*, posee un sistema radical vertical, fibrosa, poco extenso, estriado y su sistema radical es pivotante es decir de fácil destrucción. Su tallo puede alcanzar entre 60 a 100 *ccm* con hojas imparipinnadas, pequeñas y de color verde intenso, posee una flor pequeña y de color blanco. [33]

Esta hortaliza requiere una temperatura apta de crecimiento de 10°C a 21°C de semilla a plántula en almácigo, puede llegar a soportar temperatura mínima de 5°C y máxima de 30°C en el caso de que se exceda la temperatura apta puede detener el crecimiento y generar un sabor amargo, también requiere una humedad alta, baja concentración de luz. [33]

Su desarrollo es óptimo en suelos de tipo arcillosos o limosos debido a la alta humedad y la escasa pérdida de nutrientes requiere nutrientes principales tales como nitrógeno, fosforo, potasio, calcio, boro y magnesio en ocasiones; puede llegar a ser levemente tolerante a la acidez (pH 6.8 a 6.0) y a la salinidad (4 a 1 *mmho*). [33]

4.6. Plagas y enfermedades que suelen afectar la planta

Trips (*Trips tabaci*) suelen romper la planta para aprovechar la savia de esta y pueden caminar sobre superficies lisas; minadores de hojas (*Lyriomiza sativa*) es una larva la cual se alimenta dentro de las capas epidérmicas de hojas; Gusano soldado (*Spodoptera exigual*) es una larva de polilla que se mueven en grandes cantidades alimentándose voraz mente, por lo que pueden llegar a acabar rápidamente con un cultivo; enrollador de hojas de apio es una larva la cual se alimenta del tejido blando de la planta y une con seda las hojas; Gusanos grises (*Agrotis sp*) roen todos los órganos aéreos de la planta y dañan el cuello de la raíz; *Psilla rosae* es un díptero el cual deposita larvas las cuales ataca el cuello de la raíz de las *umbelliferas*; mosca de apio (*Phyllophaga heraclei* L.) es una larva que origina en los limbos foliares galerías; [33] [34] [35]

Áfidos o pulgones son insectos los cuales atacan tallos, hojas, yemas y raíces con sus estiletes y succionan la savia, pueden llegar a causar encrespamiento de hojas y detienen el crecimiento de la planta son depredados por aves y catarinitas comúnmente llamadas mariquitas y estos insectos son predominantes de zonas semiáridas. [34]

El cultivo puede llegar a padecer de enfermedades fogosas tales como *cercosporiosis* el daños comienzan por la parte externa de las hojas y sus esporas

son muy ligeras lo cual hace que sea fácilmente trasladadas por el viento; *septtoriosis* produce manchas en las hojas y su diseminación es gracias al agua al roce de animales o personas; *Sclerotium* producen pudrición en la planta en el cuello y la raíz; *Fusarium oxisporum* producen color amarillo en la planta, hay estancamiento de crecimiento, se torna frágil y adquiere un sabor amargo; *cercospora acerina* produce una pudrición negra en la raíz y se combate únicamente de forma preventiva; Mildew de apio produce desecación de hojas; adicional a esto se pueden presentar fisiopatías como corazón negro de apio debido a la deficiencia de calcio debido a baja disponibilidad, altas temperaturas, baja humedad y salinidad; ahuecado de pencas por sobre maduración, encharcamientos y bajas temperaturas; carencia de boro, se identifica gracias a la aparición de manchas parduzcas y necrosis; carencia de magnesio que se manifiesta en colores amarillos de limbos; y por último como enfermedades bacterianas se encuentra *Pseudomonas apii*, y *Erwinia carotovora* producen podredumbre; y *virus de mosaico del apio* es transmitida por pulgones, produce mosaicos, enanismo, deformación de hojas, decoloración foliar entre otras característica. [35]

5. Metodología

5.1. Etapa 1: Zona y lugar de muestreo

El muestreo se realizó en el departamento de Cundinamarca en el municipio de Jerusalén, localizado en la provincia del alto Magdalena. Presenta un gran sistema montañoso perteneciente a la cordillera oriental, a una altura promedio de 1.300 msnm, el piso térmico identificado corresponde a cálido con una temperatura media registrada de 32°C, cuenta con fuentes hídricas como el río seco y quebradas tales como el Tabaco, la Quipileña, la Pituña, la Aguadulce y la Apauta. [36]

Las condiciones de salinidad que presenta el municipio de Jerusalén-Cundinamarca son identificadas en los mapas de saturación de bases muy alta entre 70-90% y pH como alta entre 7.5-8.4, como se evidencia en los mapas del anexo A, adicional a esto se identificó un 47.1% de suelo calcáreo, esta se genera debido a las condiciones fisicoquímicas de la zona en donde influye el clima, el relieve y el material parental, las sales del suelo son generadas in situ por condiciones naturales primarias, también posee suelos con fertilidad baja y media.[11] [37]

Al hablar de suelos susceptibles a salinización se hace referencia a la posibilidad que se presente altas cantidades de sales minerales en el suelo, la salinización puede presentarse de forma natural y/o de manera antrópica, degradación de los suelos por salinización identificadas por el IDEAM corresponden a la erupción de cenizas, aguas con minerales salinos, zonas con inundaciones, suelos en climas

secos, actividades agropecuarias excesivas e inadecuadas, minería inadecuada y la deforestación. [38]

Tabla 4 Categorías de salinización

GRADO DE SALINIZACION	%
Muy Severa	2%
Severa	0,40%
Moderada	7,80%
Ligera	2,10%
Sin salinización	84,70%

Fuente: IDEAM-MAS-UDCA,2017

En la tabla 4 se presenta el porcentaje de suelos degradados por salinización a nivel nacional y su respectivo grado de salinización de acuerdo con el mapa nacional de degradación de suelos por salinización 2017.

A partir de la información evidenciada en el mapa de susceptibilidad a salinización en Colombia 2017 del (IDEAM-MADS-UDCA), se identificaron los niveles de salinización y así mismo mediante el programa ArcMap 10.7.1 se localizaron los sitios afectados por salinización en el municipio de Jerusalén- Cundinamarca, además mediante el programa Google Earth y capas descargadas del sitio web del IGAC, se identificaron las vías de acceso y posteriormente la elección de los puntos de muestreo, teniendo como criterio fundamental las categorías de salinización.

Tabla 5 Coordenadas de los puntos de muestreo

COORDENADAS DE MESTREO					
Punto	GMS		GD		CATEGORIA
1	74°41'68"O	4°32'0.56"N	74.6920	4.533124	Alta
2	74°40'54.884"O	4°32'4.026"N	74.68208	4.534195	Media
3	74°41'7.79"O	4°36'47.267"N	74.65924	4.613431	Baja

Fuente: Autores

En la tabla 5 se muestran las coordenadas planas y geográficas de los puntos de muestreo. Ir al anexo B.

La metodología de muestreo por barreno permitió hacer un muestreo por cantidad y profundidad de manera homogénea (hoyo de 25*25cm de lado y 20cm de profundidad) en cuatro puntos distintos a una distancia de 60cm en zigzag, utilizando palín y tomando una carga igual en tres muestras. Para corroborar el tipo de salinización se agregaron gotas de *HCl* mostrando una efervescencia lo que indicó presencia de carbonatos.[39] [40]

El muestreo se realizó teniendo en cuenta los mapas de clasificación de pH y saturación de bases elaborados por de la subdirección de Ecosistemas e

Información Ambiental –IDEAM Grupo de Suelos y Tierra, 2015, los puntos de muestreo para el siguiente trabajo se encuentran en el Anexo B mapa 3.

Figura 1 Recolección de suelos punto 1



Fuente: Autores

En la figura 1 se observa el primer punto de muestreo, evidenciando un suelo de color gris y en algunas partes sobre su

superficie color blanco (textura parecida a sal mojada) lo cual indicó presencia de sales en la zona.

Figura 2 Vegetación de la zona punto de muestreo 1



Fuente: Autores

En la figura 2 la mayor parte de la vegetación que se evidencia es seca y con alturas no mayores a 3 m, los pocos árboles y arbustos que se encuentran en el punto uno de muestreo presenta tallos y hojas pequeñas características de los climas secos, se encontraron algunos caparazones de caracol en el entorno.

Figura 3 Recolección de suelos punto 2



Fuente: Autores

En la figura 3 se observa el punto dos de muestreo, el suelo del lugar se encontró seco y presentó gran cantidad de hojarasca, razón por la cual se hace necesario la limpieza de la primera capa del suelo para luego proceder a tomar la muestra.

Figura 4 Recolección de suelos punto 3



Fuente: Autores

Se observa el punto de muestreo tres, en este punto se encontró gran cantidad de carbonato acumulado como aparece en la figura 4 en el costado derecho, con características de suelo seco y debido a su pendiente.

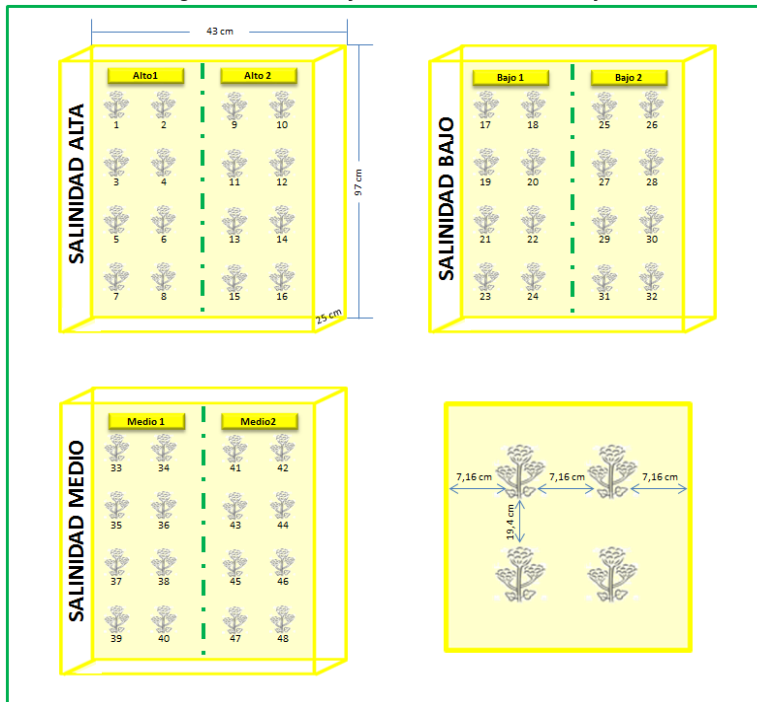
5.2. Etapa 2: Montaje, diseño y seguimiento experimental

El suelo muestreado en el municipio de Jerusalén-Cundinamarca presenta condiciones de suelo salino – sódico calcáreo, las tres muestras de suelo tomadas en campo se encontraban en un ambiente con temperatura promedio de 36/24°C y fueron trasladadas a la ciudad de Bogotá D.C., donde se realiza la siembra de la especie (*Apium graveolens*).

Según la página Weather Spark en los meses de octubre, noviembre y diciembre del 2019, enero y febrero del 2020, se tuvo una temperatura promedio de 18/8, 18/9, 19/7, 19/7 y 19/7°C respectivamente, el agua de riego utilizada para la siembra fue de 750 mL día intermedio, esto dependiendo de los días con temperaturas elevadas o bajas y luz solar aproximadamente de 6:00 a 11:00 AM.

El experimento se estableció con dos réplicas con cajones divididos a la mitad (figura 5) para tres niveles de salinidad de concentración %CaCO₃ (alto, medio y bajo) y un testigo de suelo sin plantas para cada división, impermeabilizados con

Figura 5 Siembra y distribución de montaje



Fuente: Autores

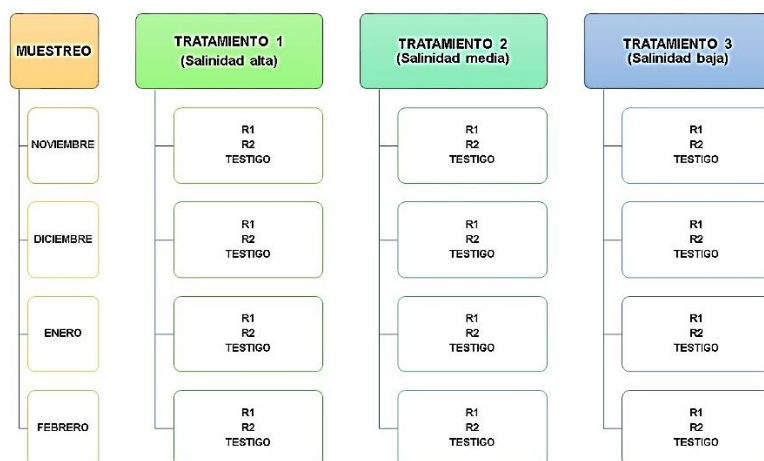
plástico, de dimensiones 97*43*25cm

(largo*ancho*alto) en un diseño de bloques completos al azar; donde para la implementación de cada tratamiento se obtuvo con un desarrollo de 7 semanas plántulas de apio (*Apium graveolens*) variedad ventura en el Centro de Biosistemas Alberto Lozano Simonelli de la Universidad Jorge Tadeo Lozano localizado en el municipio de Chía Cundinamarca con una temperatura promedio de 19/7°C; las cuales fueron

trasplantadas el día 7 de octubre del 2019, cada colchón o división contó con 8 plántulas para total de 48 plántulas sembradas.

El muestreo se tomó los días 7 de los cuatro meses de montaje como se evidencia en la figura 6, realizado a partir de 14 puntos de muestreo localizados al azar en cada colchón a una profundidad de aproximadamente 10 cm, muestras mezcladas y secas al ambiente; paralelamente el seguimiento fisiológico por cada plántula (longitud, número de tallos/hojas, cambios de coloración o alguna característica); y al finalizar los cuatro meses de montaje se realizó el seguimiento de raíz que consistió en la medición de esta, la descripción y la apariencia de la planta.

Figura 6 Diseño experimental



R1,2 = Repeticiones

Fuente: Autores

Se puede evidenciar en la tabla 6 la unidad experimental, las variables dependientes e independientes en donde se define por medio de indicadores respuestas y condiciones de las plantas respecto al suelo en estudio.

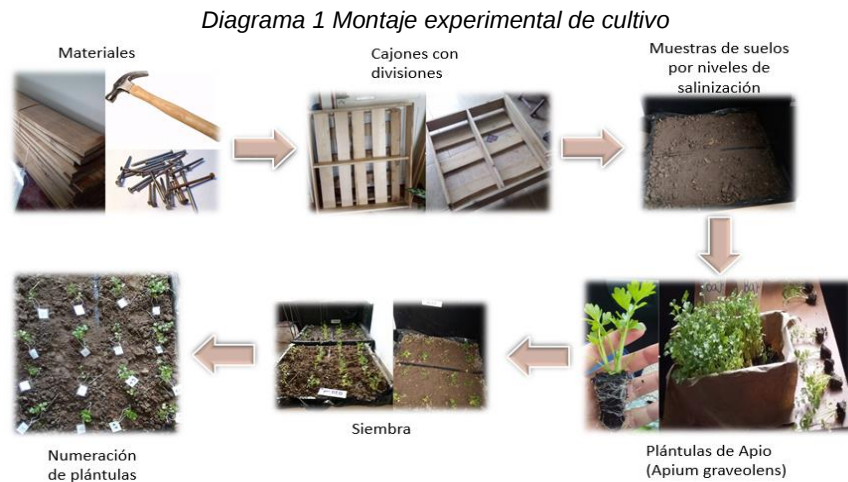
Tabla 6 Operación de variables

Variable	Dimensión	Indicadores	Medición
Concentración de sal	Independiente	-Concentración Inicial -Concentración Final	-Unidades de conductividad (mS/cm o dS/m) -Unidad de concentración total de carbonatos de calcio ($\%CaCO_3$)
Remoción o absorción de sal	Dependiente	-Cantidad de sal removida del suelo - Características de la planta (Raíz, tallo, hojas y características)	-Unidad de concentración total de carbonatos de calcio ($\%CaCO_3$) -Descripción cualitativa y cuantitativa

Fuente: Paiva G. 2015 modificada por autores

Como factores externos identificados se evidenció que las plantas fueron afectadas por un insecto llamado pulgón (para lo cual se hizo manejo con un insecticida natural el cual consiste en una infusión de ajo y tabaco rociada día intermedio medio) y aplicación de diluciones de agua con jabón rociado en tallos y hojas evitando el contacto directo con el suelo; Además otro factor externo evidenciado fue la presencia de luz solar y su distribución sobre el cultivo.

A continuación, se muestra el montaje experimental en el Diagrama 1.



5.3. Etapa 3: Métodos de análisis de suelo

En la tabla 7 se puede evidenciar los métodos de análisis desarrollados en laboratorio con sus fundamentos teóricos.

Tabla 7 Métodos de análisis

PARÁMETRO	MÉTODO	FUNDAMENTO DE METODO
pH	Pasta saturada (Diagrama 2)	El <i>pH</i> del suelo es un indicador de la concentración del ion hidrógeno, con el valor de este indicador que va de 0-14 se pueden identificar muchas de las actividades químicas y físicas que ocurren en el suelo, es por esto por lo que la identificación del <i>pH</i> del suelo a evaluar es importante ya que con este se puede llegar a determinar la fertilidad que posee el suelo para realizar el cultivo.[41]
Conductividad eléctrica (CEe)	Extracto saturado	El principio de la pasta saturada se basa en el análisis de los componentes iónicos, en donde la solución necesita llegar a un equilibrio con la fase sólida del suelo.[42]
Carbonatos de calcio totales (%CaCO₃)	(Diagrama 3)	El principio del método consiste en someter el suelo con carbonatos de calcio a la acción de un ácido diluido de ácido clorhídrico (<i>HCl</i>) en donde reacciona y consume ácido de forma estequiométrica al contenido de carbonatos, el exceso de ácido que queda al final de la reacción se valora mediante hidróxido de sodio (<i>NaOH</i>) 1 Normal.[43]
Densidad real (Ds)	Peso seco (Diagrama 4)	La densidad real es la relación entre la masa del suelo por unidad de volumen real de las partículas y varía con la proporción de elementos que constituyen el suelo, Su determinación es obtenida con el peso seco de una muestra

PARÁMETRO	MÉTODO	FUNDAMENTO DE METODO
		de suelo y el volumen de los sólidos mediante el principio de Arquímedes. [44]
Densidad aparente (DA)	Terrón parafinado	La disponibilidad de nutrientes en el suelo y la capacidad de filtración del agua, esta característica también es altamente influyente en los cultivos, esto debido a que si existe una DA alta se muestran suelos compactados y esto afecta las condiciones de humedad lo cual puede llevar a afectar directamente el crecimiento de raíces de las plantas por el espacio poroso que presenta. [45]
Humedad (%W)	Gravimétrico (Diagrama 5)	El principio de la humedad del suelo hace referencia a la cantidad de agua que tiene una determinada porción del suelo y se calcula mediante el peso de la partícula seca de suelo, la pérdida de peso del suelo después del secado en el horno corresponde al peso del agua contenida en él. [46]
Porosidad (%EP)	N/A	El principio del cálculo del porcentaje de porosidad consiste en el cálculo de un porcentaje de suelo que no está ocupado por ninguna partícula sólida, en donde ese espacio poroso puede alojar agua, gases y parte de la actividad biológica del suelo.[44]
Materia orgánica (%MO)	Walkley-Black (Diagrama 6)	El procedimiento analítico de Walkley-Black se lleva a cabo con K_2CrO_7 el cual reacciona con la materia orgánica y el exceso de esta sustancia que no ha hecho reacción se determina por reacción oxido reducción con $FeSO_4$ como agente reductor, con este procedimiento se oxida el 77% del carbono que se recuperaría por combustión. [47]
Textura y granulometría	Granulometría por hidrómetro o I.N.V.E - 124-07 (Diagrama 7)	Esta metodología está basada en la Ley de Stokes, en donde se hace la relación de la velocidad de una esfera, la cual cae libremente a través de un fluido. Se aplica a una cantidad de suelo disperso, mientras que el hidrómetro es utilizado para determinar el porcentaje de partículas, las cuales permanecen en suspensión por un determinado tiempo. [48]
Gravedad específica (Gs20°C)	Norma I.N.V.E- 128-07 (Diagrama 8)	La gravedad específica es requerida para una relación de fase entre agua, suelo y aire en un volumen determinado de material, es a su vez la relación entre la masa de cierto volumen de muestra a una temperatura dada y la masa del mismo volumen de agua al vacío a la misma temperatura. [49]

Fuente: Tomado y adaptado por autores

5.4. Técnicas para el procesamiento de la información

El tratamiento estadístico de los datos se desarrolló mediante el programa de Microsoft Excel y SPSS para Windows. En donde se realizó estadística descriptiva mediante el hallazgo de la media, la mediana y el valor mínimo y máximo, como medida de dispersión se calculó la desviación estándar, percentil 25. Percentil 50 (mediana) y percentil 75. Se realizaron pruebas paramétricas como análisis de la varianza (ANOVA) para las variables de crecimiento en plantas y posible reducción de la concentración $\%CaCO_3$ de en conjunto con pruebas de significancia post hoc las cuales permiten determinar la diferencia de medias de Tukey.

6. Desarrollo central

6.1. Procesamiento e interpretación de resultados obtenidos en laboratorio

6.1.1. pH en el suelo

El pH es una medida de concentración de hidrógeno que se expresa en términos logarítmicos, en los suelos representa un indicador muy importante ya que al existir una variación en él se modifica el grado de solubilidad de los minerales del suelo en el agua, esto influye directamente en el crecimiento de algunas especies de plantas, por ejemplo el aluminio y el magnesio son más solubles con pH bajo siendo absorbidos por las raíces de las plantas en concentraciones no asimilables para su correcto desarrollo, mientras que algunas sales minerales que contribuyen al desarrollo de las plantas como el fosfato de calcio son menos soluble a un pH alto. Sin embargo, en la naturaleza existen especies que se adecuan y se pueden desarrollar normalmente en condiciones de pH extremo.

El valor del pH en el suelo utilizado para la agricultura se encuentra generalmente en el rango variable de 6.5 a 7.0. El pH alto puede indicar presencia de sales solubles en el suelo, por ello es considerado el cultivo de especies que se adapten a estas condiciones.

El valor de pH que se halla en el suelo es el resultado de diversos factores, como el tipo de minerales, meteorización, humificación, agregados del suelo y entre otros.

Se presenta la tabla 8 el valor de pH y la categoría de un suelo salino – sódico calcáreo muestreado en el municipio de Jerusalén-Cundinamarca, Colombia, a fin de definir su calificación.

Tabla 8 Valores de pH muestreo Jerusalén-Cundinamarca

MUESTRA	NIVEL DE SALINIZACIÓN EN EL MAPA	VALOR DE pH	CATEGORÍA	PROMEDIO	CATEGORÍA FINAL
M1-1	Bajo	6.98	Neutro	6.90	Neutro

MUESTRA	NIVEL DE SALINIZACIÓN EN EL MAPA	VALOR DE pH	CATEGORÍA	PROMEDIO	CATEGORÍA FINAL
M1-2		6.89	Neutro		
M1-3		6.83	Neutro		
M2-1		7.53	Ligeramente Alcalino	7.98	Moderadamente Alcalino
M2-2	Alto	8.27			
M2-3		8.14			
M3-1	Medio	8.19	Moderadamente Alcalino	7.68	Ligeramente Alcalino
M3-2		7.34	Neutro		
M3-3		7.5	Ligeramente Alcalino		

Fuente: Autores

En M1-1, M1-2 y M1-3, correspondientes a un nivel bajo clasificado mediante el mapa de susceptibilidad a la salinización en Colombia, presenta un valor de pH de 6.9 dando lugar a una categoría de pH Neutro, esta condición permite que los cultivos se desarrollen favorablemente debido a los nutrientes, a los niveles altos de calcio (*Ca*), Magnesio (*Mg*) que presenta el suelo y que a su vez son asimilables para el medio de desarrollo en el cultivo. [50]

Las muestras M2-1, M2-2 y M2-3, correspondientes a un nivel Alto presentan un valor de pH de 7.98 llevándolo así a una categoría de Moderadamente alcalino, indicando de esta manera que el suelo presenta alto contenido en carbonato de cálcico, esta condición impide que la planta obtenga gran cantidad de los nutrientes disponibles en el suelo. [51]

Con relación a las muestras M3-1, M3-2 y M3-3, que corresponden a un nivel medio, se muestra que presentan un valor de pH de 7.68 en una categoría de ligeramente alcalino, presentando de esta manera al igual que en el nivel alto, contenido de carbonatos de calcio en concentraciones menores, esta condición influye directamente en el crecimiento normal de las plantas, no obstante, cabe anotar que existen especies de plantas que son resistentes condiciones extremas de pH.

6.1.2. Conductividad eléctrica en el suelo

El valor de la conductividad eléctrica (CE) nos sirve para identificar la concentración de sales en una solución de agua destilada, pero este indicador no puede determinar qué tipo de sales se encuentran en el suelo. La conductividad eléctrica son CE del agua de drenaje, CE del agua de riego y CE de la solución del suelo. [52]

Por otra parte, conocer la CE del suelo es importante ya que esto permite tomar decisiones con relación al manejo del suelo, también es importante debido a es posible determinar la fracción de lavado que debe ser adicionada en el suelo, permite identificar el tipo de cultivo que puede ser sembrado en el área y a nivel general el conocimiento de esta variable sirve para tomar decisiones del uso del suelo. [53]

En la tabla 9 se muestra las condiciones de salinización y los efectos que esta puede tener en las plantas con relación a los resultado de conductividad eléctrica (CEe) obtenidos en las muestras del mes de septiembre, las unidades de suelo, se evidencia para el nivel bajo y medio localizados en el mapa de salinización, resultados que cambian los niveles iniciales existentes, llegando de esta manera a obtener suelos moderadamente salinos en el nivel muestreado como bajo y suelos muy bajos en sales en el nivel muestreado como alto, mientras que en el nivel alto se mantiene una condición de salinidad de suelo salino. Sin embargo, es importante mencionar que la porción de suelo tomado para hallar el valor de la CE es muy pequeña con relación a la muestra total.

Tabla 9 Condiciones de salinidad por conductividad eléctrica (CEe)

CONDUCTIVIDAD ELECTRICA POR PASTA SATURADA EXTRACTO DE SUELO 1:2				
NIVEL DE SALINIDAD EN EL MAPA	CONDUCTIVIDAD EN ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	CONDUCTIVIDAD EN (dS/m)	RANGO DE CEe	CONDICIONES DE SALINIDAD Y EFECTOS SOBRE LAS PLANTAS
Bajo	1011	1.01	2.4 - 3.8	Suelo moderadamente salino. Algunos cultivos muy sensibles pueden ver restringidos sus rendimientos
Medio	319	0.32	0.4 - 1.2	Suelo muy bajo en sales. Algunos cultivos muy sensibles pueden ver restringidos sus rendimientos
Alto	1048	1.05	3.8 - 5.5	Suelo salino. Rendimiento de casi todos los cultivos se ve afectado por esta condición de salinidad

Fuente: Autores

6.1.3. Materia orgánica

La materia orgánica representa el 5% del volumen de un suelo ideal, la presencia de materia orgánica es altamente importante para el crecimiento correcto de las plantas, esta es proveniente de animales y principalmente se genera por las plantas a partir de sus tallo, raíces, flores, frutos y hojas, y posteriormente es víctima de dos cambios encargados de realizarlos los microorganismos, en donde los compuestos que poseen fácil descomposición se mineraliza rápidamente y se obtienen como producto final CO_2 , H_2O , nitrógeno, fósforo, calcio y magnesio, mientras que los compuestos más resistentes son mineralizados lentamente y con

sustancias sintetizadas, constituyen el humus el cual se descompone muy lentamente. [54]

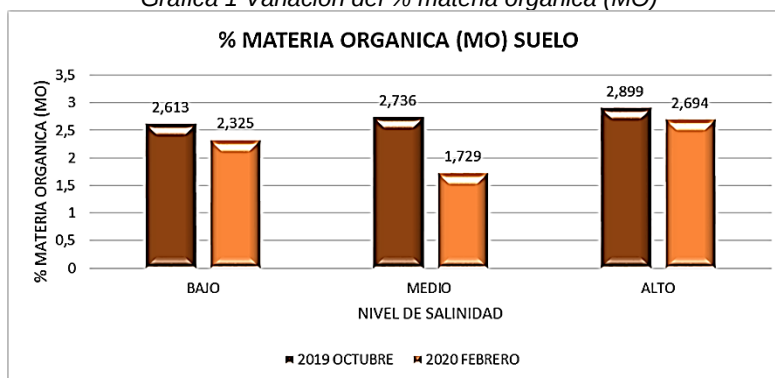
En la tabla 10 se presentan los resultados del porcentaje de materia orgánica (MO) en el suelo y la gráfica 1 con la variación en el tiempo:

Tabla 10 % Materia Orgánica (MO) y su clasificación

NIVEL	MES	%MATERIA ORGÁNICA (MO)	CLASIFICACIÓN
MEDIO	OCTUBRE	2.613	Medio
BAJO		2.736	Medio
ALTO		2.899	Medio
MEDIO	FEBRERO	2.325	Medio
BAJO		1.729	Bajo
ALTO		2.694	Medio

Fuente: Autores

Gráfica 1 Variación del % materia orgánica (MO)



Fuente: Autores

El %MO en los tres niveles de salinidad del suelo bajo, medio y alto presentan un contenido de materia orgánica identificado como medio, en las muestras iniciales tomadas antes de realizar el cultivo de las especies en el mes de octubre, sin embargo para el mes de febrero en la última medición %MO se observa un porcentaje de reducción en esta propiedad en donde el nivel medio presenta 11.02% menos del porcentaje de materia orgánica, no obstante su clasificación sigue siendo medio, en el nivel bajo de salinización existe un decaimiento del 36.81% cambiando su clasificación a un suelo bajo en %MO, el nivel alto presenta un porcentaje menor de reducción de materia orgánica correspondiente a 7.07% la cual no presenta cambio en su clasificación.

Esta reducción de porcentaje de materia orgánica se atribuye al aprovechamiento de la materia orgánica disponible en el suelo por las plantas sembradas, es por esta razón que las plantas presentan un buen crecimiento, por otra parte es

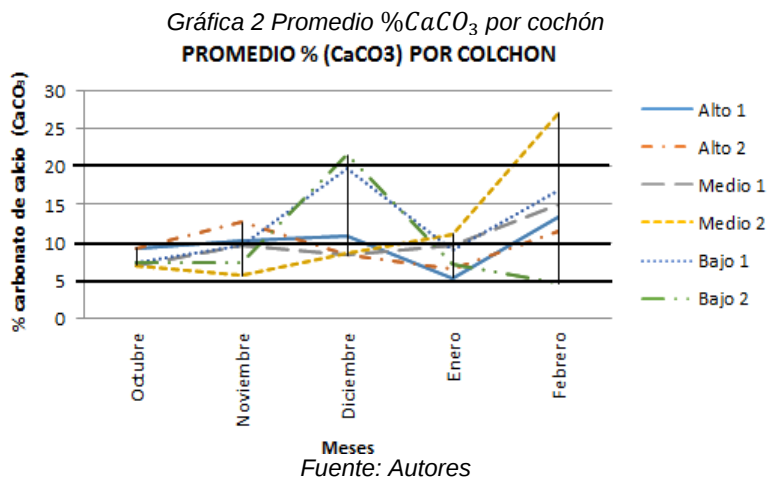
importante señalar que las muestras tomadas no representaban una profundidad mayor a 40 *cm* lo cual indica que el horizonte analizado tiene gran contenido de material orgánico debido a los restos de plantas, raíces, microorganismos y macroorganismos, razón por la cual en la clasificación mineral a partir de la densidad real el mineral predominante en los niveles bajo y alto es el humus mientras que en el nivel medio es la arcilla. [55][56]

6.2. Comportamiento del $\%CaCO_3$

Los suelos que presentan valores de pH próximos a 8 suelen tener gran cantidad de carbonatos de calcio, mientras que los suelos con valores de pH superiores a 8,5 predomina el carbonato sódico.

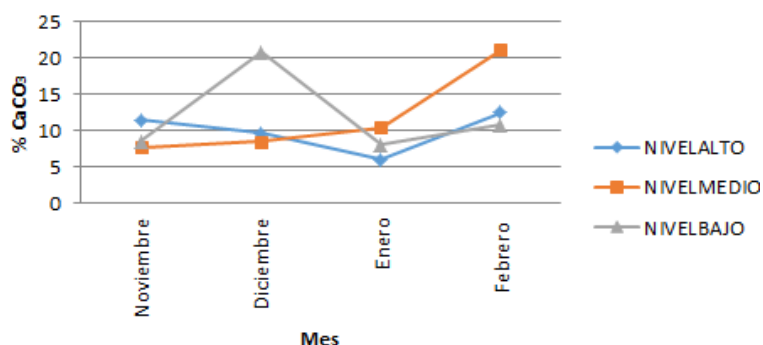
Los porcentajes de carbonato de calcio contenido en el suelo que se encuentren dentro del rango 8-10% necesitan una validación por el método de caliza activa, ya que por medio de este método se permite analizar las partículas más finas, estas partículas son muy activas químicamente y pueden llegar a inferir en el crecimiento de las plantas, al igual que causar daños en sus tallos/hojas y posibles enfermedades por clorosis en las hojas.

A continuación, se presentan las gráficas correspondientes al comportamiento de la concentración en $\%CaCO_3$ durante los cuatro meses por cada nivel de salinidad.



En la gráfica 2 se presentan los datos del promedio de porcentaje de carbonato de calcio para cada uno de los colchones y niveles analizados, para hallar el porcentaje de carbonatos se realizaron tres repeticiones por nivel en cada uno de los meses desde octubre 2019 hasta febrero 2020.

Gráfica 3 %CaCO₃ en el tiempo por niveles
PROMEDIO DE %CaCO₃ POR NIVEL DE SALINIDAD



Fuente: Autores

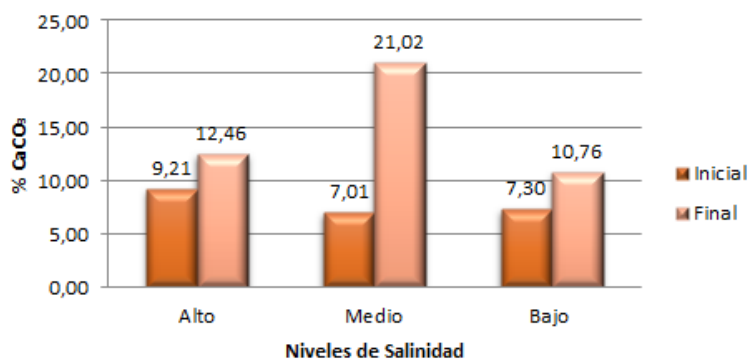
de incremento en el %CaCO₃ para el nivel Alto.

En el nivel medio de salinidad tuvo un incremento notorio en el último periodo de tiempo enero-febrero, este incremento corresponde a la capacidad que tienen las sales solubles de viajar por el espacio poroso de este suelo correspondiente 1.01% con clasificación de muy bajo, razón por la cual presenta un incremento lento en el tiempo de llegada de los carbonatos a la superficie del suelo.

El comportamiento fluctuante de concentración de %CaCO₃ del nivel bajo en el tiempo se atribuye a la capacidad que presenta el suelo de transportar sustancias de forma rápida debido a su clasificación de muy alto en %EP.

Gráfica 4 %CaCO₃ testigo Vs final de la aplicación del experimento
(febrero)

%CaCO₃ TESTIGO VS FINAL DE LA APLICACION DEL EXPERIMENTO



Fuente: Autores

de concentración de %CaCO₃.

Se evidencia el incremento de la concentración de %CaCO₃ en los niveles alto, medio y bajo, donde se atribuye al método de recolección de muestras y la evidente migración de sales en a la superficie del suelo, la cual ocurre por acción

En la gráfica 3 se muestra el comportamiento por nivel del %CaCO₃

El nivel alto posee un espacio poroso de 9.09% clasificado como medio, en donde se evidencian resultados de concentración oscilante durante el tiempo de desarrollo del experimento, llegando de esta manera a presentar resultados finales

En la gráfica 4 que se muestra la comparación por nivel de salinidad estudiado, en donde el resultado identificado como inicial hace referencia a la muestra de suelo sin plantación y el final a los resultados obtenidos de %CaCO₃ con plantación de la especie de Apio (*Apium graveolens*), obteniendo como resultado notorio el crecimiento que se presentó en el nivel medio

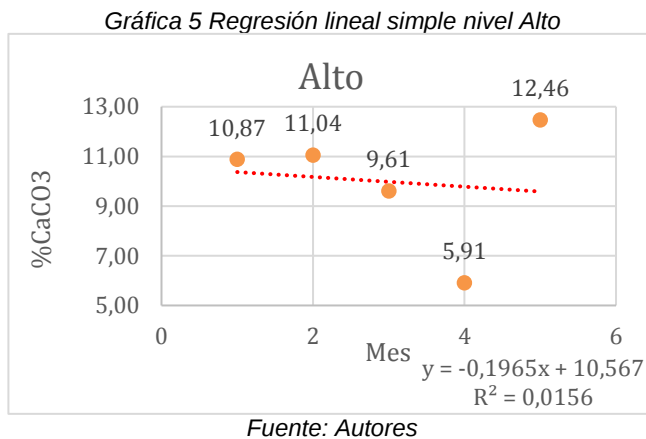
de la evaporación del agua de riego que traslada las sales no solubles a la superficie por acción de la diferencia de densidades.

Otro factor influyente en el desplazamiento de las sales en el suelo corresponde al espacio poroso que presenta cada nivel de salinidad evaluado en el experimento.

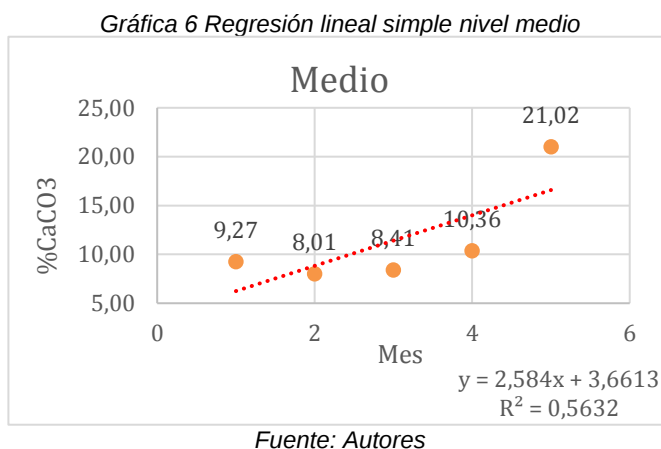
Los suelos calcáreos, son suelos con $\%CaCO_3$ característicos de suelos salino-sódicos con pocos contenidos de materia orgánica, escasez en contenido de fósforo, zinc y hierro, este tipo de suelos poseen una productividad la cual depende de la disponibilidad del agua y nutrientes; adicional este tipo de suelos son eficientes para cultivos, con laboreo y un sistema de drenaje eficiente.[57] [58]

6.2.1. Análisis por regresión lineal simple

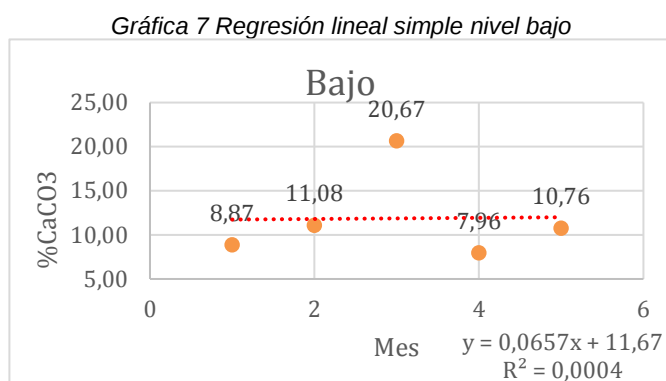
Se realizaron regresiones lineales en las que se promediaron los resultados de cada factorial para cada uno de los niveles con el fin de identificar si hubo alguna tendencia de reducción del $\%CaCO_3$



En la gráfica 5 correspondientes al nivel alto se mostró con una pendiente de -0.4898 donde se evidenció que hubo una tendencia de reducción de $\%CaCO_3$ pequeña respecto al tiempo, un R^2 0.0156 lo que representa una baja significancia en el modelo.



En la gráfica 6 se muestra que para el nivel medio se muestra una pendiente de 2,584 lo que evidencia que el modelo tiende a incrementar de $\%CaCO_3$, con un R^2 de 0.5632 lo que representa una baja significancia al modelo.



En la gráfica 7 correspondiente al nivel bajo se mostró una pendiente de 0.0657 lo que muestra que tiende a ser constante la concentración de $\%CaCO_3$ con el tiempo, con un R^2 0.0004 lo que representa una baja significancia en el modelo.

6.2.2. Análisis de la dinámica de la reducción en el $\%CaCO_3$

Tabla 11 Aumento o reducción del $\%CaCO_3$ por mes

Mes	Alto 1	Alto 2	Medio 1	Medio 2	Bajo 1	Bajo 2
Octubre	10,87	10,87	9,27	9,27	8,87	8,87
Noviembre	10,21	12,61	9,61	5,605	9,61	7,31
Aumento o reducción	-0,66	1,74	0,34	-3,665	0,74	-1,56
Noviembre	10,21	12,61	9,61	5,605	9,61	7,31
Diciembre	10,91	8,305	8,305	8,51	19,82	21,52
Aumento o reducción	0,7	-4,305	-1,305	2,905	10,21	14,21
Diciembre	10,91	8,305	8,305	8,51	19,82	21,52
Enero	5,305	6,505	9,61	11,11	8,91	7,01
Aumento o reducción	-5,605	-1,8	1,305	2,6	-10,91	-14,51
Enero	5,305	6,505	9,61	11,11	8,91	7,01
Febrero	13,41	11,51	15,015	27,02	16,91	4,605
Aumento o reducción	8,105	5,005	5,405	15,91	8	-2,405
Totales aumento o reducción	2,54	0,64	5,745	17,75	8,04	-4,27

Fuente: Autores mediante Microsoft Excel

En la tabla 11 se muestra los valores para el análisis de incremento o reducción del porcentaje de carbonatos de calcio por cada colchón muestral se realiza para evidenciar por cada mes el comportamiento de la variable $\%CaCO_3$, en donde se calcula la diferencia entre los meses octubre-

noviembre, noviembre-diciembre, diciembre-enero y enero-febrero periodo de tiempo transcurrido desde y hasta el día 7 de cada mes.

Los números en color rojo representan el porcentaje de incremento de $\%CaCO_3$, mientras que los resultados de porcentaje de reducción se presentan en color azul, mostrados en la tabla 11 de aumento o reducción de $\%CaCO_3$.

La totalidad de los datos obtenidos en aumento o reducción de $\%CaCO_3$ corresponden a un número de 24 en donde el 29.2% representan datos de reducción y el 70.8% datos de aumento en el porcentaje de $\%CaCO_3$.

También es posible destacar que el porcentaje de incremento total de $\%CaCO_3$ más alto se encontró en el colchón M2 con un aumento de 20.015% seguido de, B1 con 9.61%, M1 con 8.01%, A1 con 4.20% y A1 con 2.31%, y el único valor de reducción se encontró en el colchón B2 con un valor de 2.695%.

▪ Análisis univariado de varianza

La hipótesis nula establece que la concentración media de $\%CaCO_3$ en los tres niveles de salinidad alto, medio y bajo durante los cuatro meses de desarrollo del experimento es igual.

En la tabla 12 se evidencia el análisis univariado del comportamiento de la concentración del $\%CaCO_3$ respecto a la *presencia de plantas* (tratamientos y testigos), el *nivel* (alto, medio y bajo) y el *mes*.

Se evidencian en las pruebas de efecto inter-sujetos, que para la variable independiente *presencia de plantas* es significativo con 0.056 con una certeza del 94.4% lo cual indica un 5,6% de riesgo al concluir que existe una diferencia. La hipótesis alternativa se acepta y se concluye que existen diferencias significativas en las concentraciones del $\%CaCO_3$ en cada nivel respecto a la *presencia de plantas*.

Para la variable independiente *nivel* la concentración de $\%CaCO_3$ no difieren debido a que su significancia es $0.976 > 0.05$ es decir que su certeza es de 2.4%.

Para la variable independiente *mes* se evidencia una significancia de 0.017 lo cual indica un efecto en la interacción con el $\%CaCO_3$.

Tabla 12 Análisis univariado del $\%CaCO_3$

Tabla 12.7 Análisis univariante del %CaCO₃

Factores inter-sujetos			
		Etiqueta de valor	N
Presencia de plantas	Con		24
	Sin		24
NIVEL	1	Alto	16
	2	Bajo	16
	3	Medio	16
MES	07-NOV-2019		12
	07-DEC-2019		12
	07-JAN-2020		12
	07-FEB-2020		12

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: %CaCO ₃					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	562,447 ^a	23	24,454	3,420	,002
Intersección	5235,974	1	5235,974	732,195	,000
Presencia de plantas	28,776	1	28,776	4,024	,056

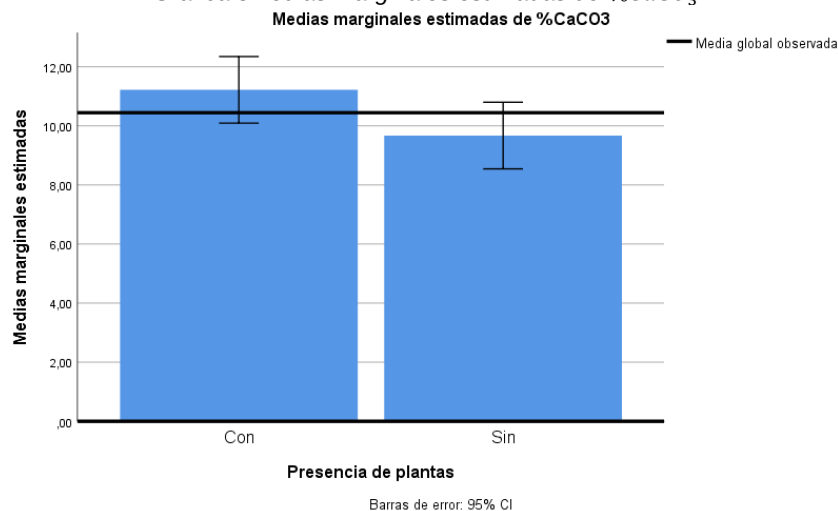
NIVEL	,343	2	,172	,024	,976
MES	88,108	3	29,369	4,107	,017
Presencia de plantas * NIVEL	40,247	2	20,124	2,814	,080
Presencia de plantas * MES	88,108	3	29,369	4,107	,017
NIVEL * MES	158,432	6	26,405	3,693	,010
Presencia de plantas * NIVEL * MES	158,432	6	26,405	3,693	,010
Error	171,626	24	7,151		
Total	5970,047	48			
Total, corregido	734,072	47			

a. R al cuadrado = ,766 (R al cuadrado ajustada = ,542)

Fuente: Autores mediante el programa IBM SPSS

En la gráfica 8 se puede evidenciar que la significancia de las pruebas de efecto inter-sujetos respecto a la variable independiente *presencia de plantas* donde se acepta la hipótesis alternativa, se concluye que la diferencia significativa entre la concentración de $\%CaCO_3$, corresponde a un incremento entre los testigos y los tratamientos.

Gráfica 8 Medias marginales estimadas de $\%CaCO_3$



Fuente: Autores mediante el programa IBM SPSS

■ Pruebas post hoc

En la tabla 13 se evidencia los resultados con *HSD Tukey* para la variable independiente *mes* donde para la comparación entre *noviembre-febrero* hay una significancia de 0.076 y con *enero-febrero* de 0.026 donde se evidencia que se difiere entre la comparación de los otros meses respecto a la concentración $\%CaCO_3$.

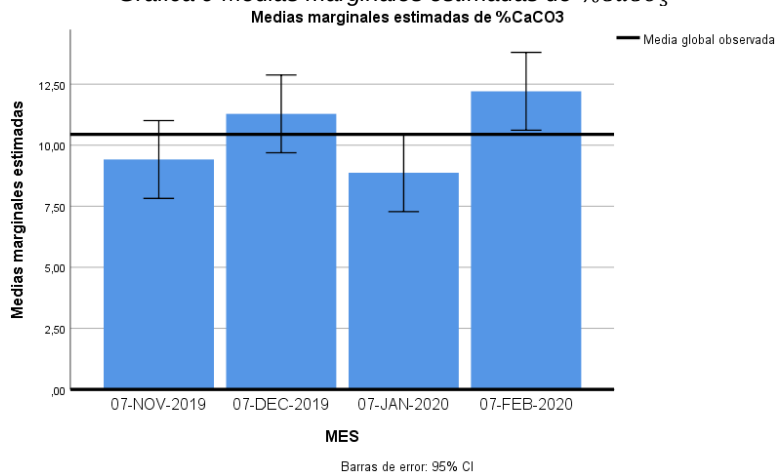
Tabla 13 Pruebas post hoc %CaCO₃ por mes

Comparaciones múltiples							
Variable dependiente: %CaCO ₃							
	(I) MES	(J) MES	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
HSD Tukey	07-NOV-2019	07-DEC-2019	-1,8679	1,09172	,340	-4,8795	1,1437
		07-JAN-2020	,5421	1,09172	,959	-2,4695	3,5537
		07-FEB-2020	-2,7929	1,09172	,076	-5,8045	,2187
	07-DEC-2019	07-NOV-2019	1,8679	1,09172	,340	-1,1437	4,8795
		07-JAN-2020	2,4100	1,09172	,150	-,6016	5,4216
		07-FEB-2020	-,9250	1,09172	,831	-3,9366	2,0866
	07-JAN-2020	07-NOV-2019	-,5421	1,09172	,959	-3,5537	2,4695
		07-DEC-2019	-2,4100	1,09172	,150	-5,4216	,6016
		07-FEB-2020	-3,3350*	1,09172	,026	-6,3466	-,3234
	07-FEB-2020	07-NOV-2019	2,7929	1,09172	,076	-,2187	5,8045
		07-DEC-2019	,9250	1,09172	,831	-2,0866	3,9366
		07-JAN-2020	3,3350*	1,09172	,026	,3234	6,3466

Fuente: Autores mediante el programa IBM SPSS

En la gráfica 9 se puede evidenciar que la significancia de las pruebas *HSD Tukey* respecto a los meses *noviembre-febrero* y *enero-febrero* se debe a que la concentración de %CaCO₃, sin embargo no existe una tendencia clara, este comportamiento se puede atribuir a los movimientos de las sales a través del perfil del suelo, al método químico implementado para el análisis, a la cantidad de repeticiones realizadas por nivel y a que la especie de apio (*Apium graveolens*) no tiene algún efecto sobre la absorción de carbonatos.

Gráfica 9 Medias marginales estimadas de %CaCO₃



Fuente: Autores mediante el programa IBM SPSS

En la tabla 14 se evidencia los resultados con *HSD Tukey* para la variable independiente *nivel* donde entre las comparaciones entre los niveles *alto*, *medio* y *bajo* no hay una significancia respecto a la concentración $\%CaCO_3$ ya que todas son mayores a 0,05.

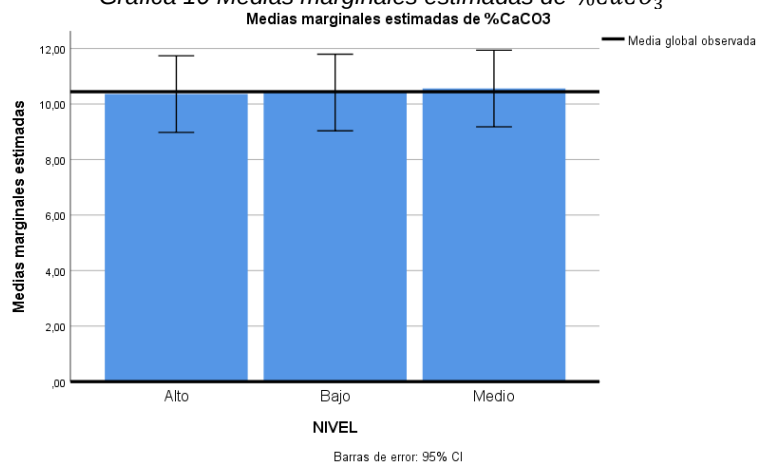
Tabla 14 Comparaciones múltiples

Comparaciones múltiples							
Variable dependiente: $\%CaCO_3$							
	(I) NIVEL	(J) NIVEL	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
HSD Tukey	Alto	Bajo	-,0581	,94545	,998	-2,4192	2,3029
		Medio	-,2012	,94545	,975	-2,5623	2,1598
	Bajo	Alto	,0581	,94545	,998	-2,3029	2,4192
		Medio	-,1431	,94545	,987	-2,5042	2,2179
	Medio	Alto	,2012	,94545	,975	-2,1598	2,5623
		Bajo	,1431	,94545	,987	-2,2179	2,5042

Fuente: Autores mediante el programa IBM SPSS

En la gráfica 10 se puede evidenciar que la significancia de las pruebas *HSD Tukey* respecto a los niveles *alto*, *medio* y *bajo* se debe a que la concentración de $\%CaCO_3$ tiene un comportamiento similar entre ellos.

Gráfica 10 Medias marginales estimadas de $\%CaCO_3$



Fuente: Autores mediante el programa IBM SPSS

6.3. Tasa promedio de crecimiento en la siembra de apio (*Apium graveolens*)

El crecimiento de las plantas depende de muchos factores dentro de los cuales se encuentra el clima, las condiciones del suelo, el riego, los nutrientes disponibles y las plagas.

La tasa promedio de crecimiento en plantas se puede evaluar a partir de cualquier variable, como la variación de la longitud, el diámetro, crecimiento del tronco en el árbol, crecimiento de los frutos, peso húmedo de la planta o peso seco. Las etapas de crecimiento y desarrollo en las plantas siguen el siguiente orden: fertilización → gemmule → semilla → germinación → siembra → crecimiento → floración → fruto y envejecimiento. [71]

De acuerdo con la información anterior y sin importar cuál sea la variable utilizada, siempre va a existir una medida de variación representada como (Δw), que se expresa por unidad de tiempo, con lo que se obtiene la velocidad de crecimiento ($\Delta w/ t$).

Al ser representado el tamaño de un individuo o de una población en un plano con coordenadas X y Y en función de un tiempo, se obtiene una curva denominada Sigmoide, esta presenta tres fases, la inicial en donde se presenta un incremento exponencial donde sostiene su máxima intensidad, la segunda se conoce como fase lineal o rectilínea en donde periodos iguales de tiempo poseen crecimientos iguales y la tercera es conocida como fase de envejecimiento o senescencia, en donde presenta un crecimiento lento y cada vez menos efectivo. [59]

Para efectos del análisis de crecimiento de todas las plantas sembradas en los diferentes colchones, se utilizó la siguiente fórmula identificada como tasa promedio de crecimiento en plantas, para la especie apio (*Apium graveolens*) en los suelos salinos muestreados.

$$TPC = \frac{(S2 - S1)}{T}$$

En donde:

TPC =Tasa promedio de crecimiento

S2= Altura final de la planta (cm)

S1= Altura inicial de la planta (cm)

T = número de meses transcurridos hasta la última toma de altura

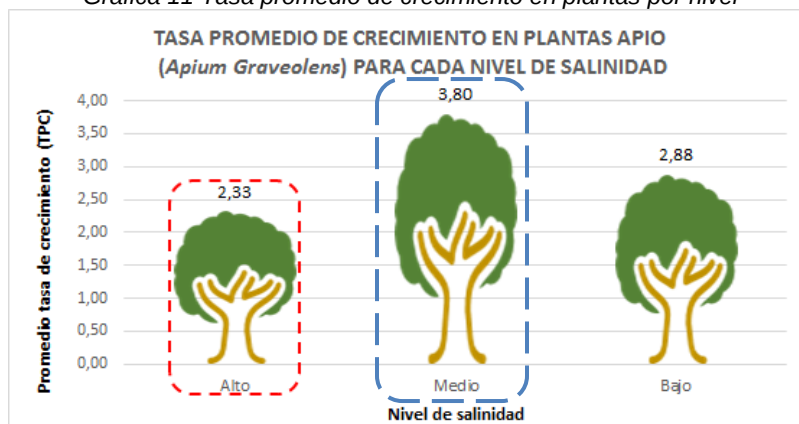
A Continuación, se encuentra representado en gráficas por nivel de salinidad, las tasas promedio de crecimiento, en donde nivel con el TPC más alto y con el TPC más bajo. En la gráfica 11 se evidencia que la mejor TPC se dio en el nivel medio de salinización lo que se puede atribuir a las condiciones en las que se encontraba y a que hubo mejor adaptabilidad al sustrato con concentración del $\%CaCO_3$.

Como se puede evidenciar en la gráfica 11, se destaca que las plantas presentaron un mayor TPC promedio en el nivel medio durante los cuatro meses, mientras que en el nivel alto presenta los valores de TPC promedio más bajos.

Estos resultados se atribuyen a la cantidad de sales disueltas de carbonatos de calcio que se encuentran en el suelo, siendo el nivel alto el más afectado en

crecimiento de las plantas, también se debe a que en el primer mes de desarrollo de la especie los colchones niveles alto y bajo no tenían una buena disponibilidad de luz solar, razón por la cual en el mes de diciembre se realizó una reubicación a fin de que la obtuvieran, sin embargo, el resultado de su crecimiento no evidenció gran cambio; adicional a esto la plaga denominada pulgón interfirió en el crecimiento de las plantas debido a su comportamiento a través del tiempo en el cultivo.

Gráfica 11. Tasa promedio de crecimiento en plantas por nivel



Fuente: Autores

▪ Análisis univariado de varianza TPC

En la tabla 15 se evidencia que las variables *nivel* y *mes* no tienen ninguna significancia con la variable dependiente *TPC*, atribuyéndose a que los niveles (*alto*, *bajo* y *medio*) inhibió el crecimiento y buen desarrollo de la especie apio (*Apium graveolens*).

Tabla 15 Análisis univariado TPC

Tabla 10. Análisis de variancia TPC

Factores inter-sujetos			
		Etiqueta de valor	N
NIVEL	1	Alto	16
	2	Bajo	16
	3	Medio	16
MES	07-NOV-2019		12
	07-DEC-2019		12
	07-JAN-2020		12
	07-FEB-2020		12

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: TPC					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	15,518 ^a	11	1,411	,242	,992
Intersección	138,627	1	138,627	23,802	,000

NIVEL	1,663	2	,831	,143	,867
MES	9,096	3	3,032	,521	,671
NIVEL * MES	4,759	6	,793	,136	,991
Error	209,669	36	5,824		
Total	363,813	48			
Total, corregido	225,187	47			

a. R al cuadrado = ,069 (R al cuadrado ajustada = -,216)

Fuente: Autores mediante el programa IBM SPSS

■ Pruebas post hoc

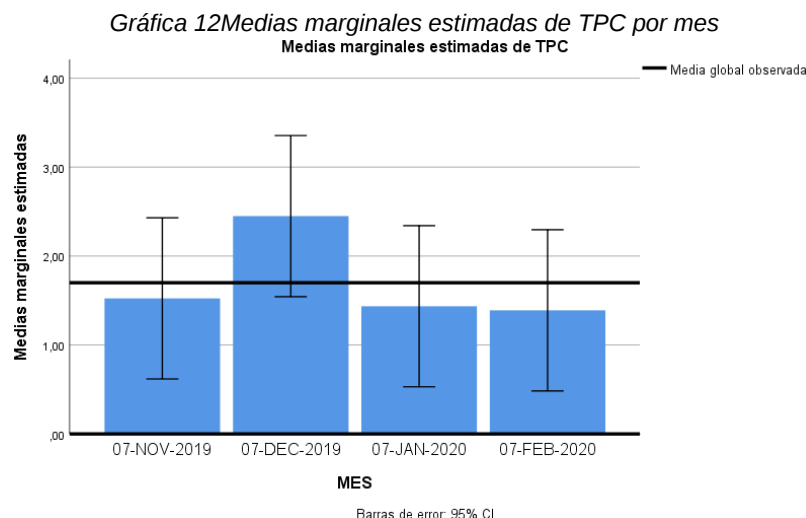
En la tabla 16 se muestran los resultados con *HSD Tukey*, no se evidencia significancia entre la comparación múltiple de la variable independiente *mes*.

Tabla 16 Prueba post hoc TPC por mes

Comparaciones múltiples							
Variable dependiente: TPC							
	(I) MES	(J) MES	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
HSD Tukey	07-NOV-2019	07-DEC-2019	-,9248	,98524	,784	-3,5783	1,7287
		07-JAN-2020	,0885	,98524	1,000	-2,5649	2,7420
		07-FEB-2020	,1344	,98524	,999	-2,5191	2,7878
	07-DEC-2019	07-NOV-2019	,9248	,98524	,784	-1,7287	3,57833
		07-JAN-2020	1,0133	,98524	,734	-1,6401	3,6668
		07-FEB-2020	1,0592	,98524	,707	-1,5943	3,7126
	07-JAN-2020	07-NOV-2019	-,0885	,98524	1,000	-2,7420	2,5649
		07-DEC-2019	-1,0133	,98524	,734	-3,6668	1,6401
		07-FEB-2020	,0458	,98524	1,000	-2,6076	2,6993
	07-FEB-2020	07-NOV-2019	-,1344	,98524	,999	-2,7878	2,5191
		07-DEC-2019	-1,0592	,98524	,707	-3,7126	1,5943
		07-JAN-2020	-,0458	,98524	1,000	-2,6993	2,6076

Fuente: Autores mediante el programa IBM SPSS

En la gráfica 12 se evidencia que para el mes entre *noviembre-diciembre* del año 2019 un crecimiento notorio, pero en los meses posteriores como lo son *enero* y *febrero* se redujo el crecimiento atribuyendo este escenario a las concentraciones de $\%CaCO_3$, también a factores externos tales como la cantidad de luz, disponibilidad de agua y plagas.



Fuente: Autores mediante el programa IBM SPSS

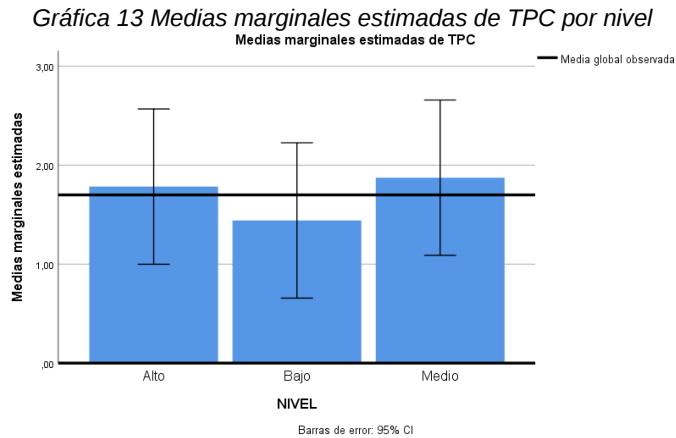
En la tabla 17 se muestran los resultados con *HSD Tukey* no se evidencia significancia entre la comparación múltiple de la variable independiente *nivel*.

Tabla 17 Comparaciones múltiples TPC

Comparaciones múltiples							
Variable dependiente: TPC							
	(I) NIVEL	(J) NIVEL	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
HSD Tukey	Alto	Bajo	,3420	,85324	,915	-1,7435	2,4276
		Medio	-,0900	,85324	,994	-2,1756	1,9956
	Bajo	Alto	-,3420	,85324	,915	-2,4276	1,7435
		Medio	-,4320	,85324	,869	-2,5176	1,6535
	Medio	Alto	,0900	,85324	,994	-1,9956	2,1756
		Bajo	,4320	,85324	,869	-1,6535	2,5176

Fuente: Autores mediante el programa IBM SPSS

En la gráfica 13 se puede evidenciar que el mejor crecimiento y desarrollo de la especie de apio (*Apium graveolens*) respecto a cada nivel de evidencia en el medio.



Fuente: Autores mediante el programa IBM SPSS

6.3.1. Análisis estadístico de la longitud final de raíz en la especie cultivada (*Apium graveolens*)

La hipótesis planteada para las pruebas de normalidad de los datos de longitud de la raíz en las plantas corresponde a que la variable presenta una distribución normal.

Se realiza el análisis de la variable longitud de la raíz de las plantas por Shapiro-Wilk, debido a que tenemos un grado de libertad de 48, el resultado de significancia es de 0.443 siendo este mayor a 0.05, por lo cual se aprueba la hipótesis y se concluye que la variable presenta una distribución normal en los datos, presentando una asimetría positiva de 0.079.

A continuación, en la tabla 18 se presentan los resultados de la estadística descriptiva para la variable *longitud de la raíz* de las plantas, la tabla 19 pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk para la misma variable y en la gráfica 14 histograma longitud de la raíz en planta.

Tabla 18 Estadística descriptiva para la variable de longitud de raíz de las plantas

Descriptivos			Estadístico	Error estándar
Longitud de la raíz (cm)	Media		10,535	,5856
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	9,357	
		Límite superior	11,714	
	Media recortada al 5%		10,539	
	Mediana		10,500	
	Varianza		16,462	
	Desviación estándar		4,0574	
	Mínimo		3,0	
	Máximo		19,0	
	Rango		16,0	
	Rango intercuartil		6,1	
	Asimetría		,079	,343
	Curtosis		-,691	,674

Fuente: Autores mediante programa IBM SPSS statistics

Tabla 19 Pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk para variable de longitud raíz de las plantas

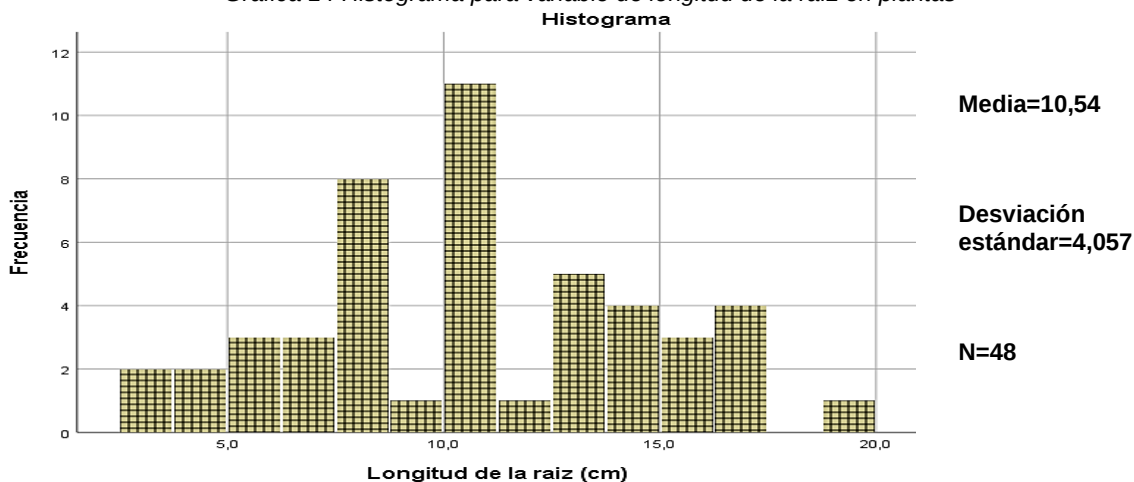
	Pruebas de normalidad					
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Longitud de la raíz (cm)	,088	48	,200 [*]	,977	48	,443

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Autores mediante programa IBM SPSS statistics

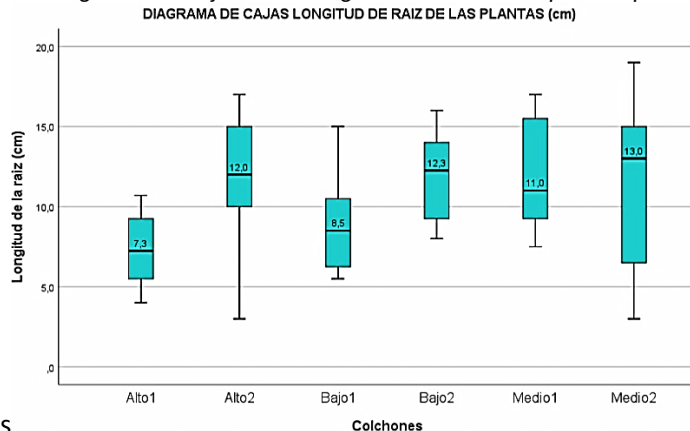
Gráfica 14 Histograma para variable de longitud de la raíz en plantas



Fuente: Autores mediante programa IBM SPSS statistics

En la gráfica 15 se observa que el colchón M2 representa valores de crecimiento de la raíz con mayor variación, de igual manera presenta el valor de la media más grande correspondiente a 13 cm, mientras que el colchón A1 presenta un rango más corto en cuanto al crecimiento de las raíces y un valor de media más bajo llegando a 7.3 cm.

Gráfica 15 Diagrama de cajas de la longitud de raíz de las plantas por colchón



es

Fuente: Autores mediante programa IBM SPSS statistics

En la tabla 20 se evidencia que las variables *nivel* no posee una significancia respecto a la variable dependiente *longitud de raíz* de la especie apio (*Apium graveolens*).

Tabla 20 Análisis univariado Longitud de raíz

Tabla 20 Análisis univariado Longitud de Raíz

Factores inter-sujetos			
		Etiqueta de valor	N
Nivel	1	Alto	16
	2	Bajo	16
	3	Medio	16

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: Longitud de Raíz (cm)					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	37,383 ^a	2	18,691	1,142	,328
Intersección	5327,760	1	5327,760	325,593	,000
Nivel	37,383	2	18,691	1,142	,328
Error	736,347	45	16,363		
Total	6101,490	48			
Total, corregido	773,730	47			

a. R al cuadrado = ,048 (R al cuadrado ajustada = ,006)

Fuente: Autores mediante programa IBM SPSS statistics

■ Pruebas post hoc

En la tabla 21 se muestran los resultados con *HSD Tukey*, no se evidencia significancia entre la comparación múltiple de la variable independiente *nivel* y la variable dependiente *longitud de raíz*.

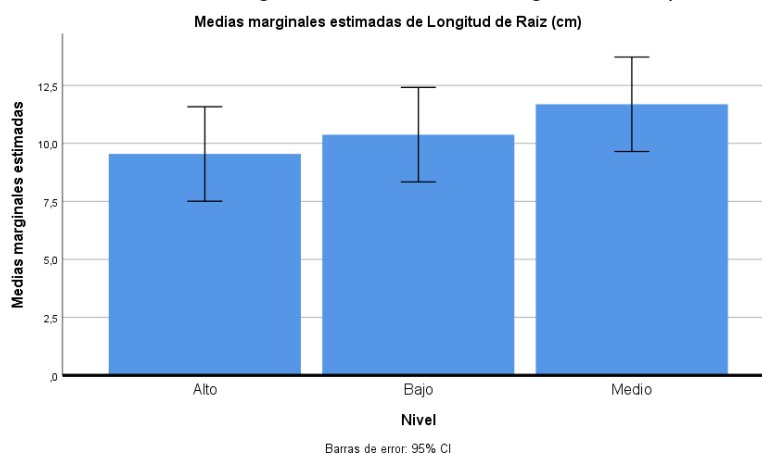
Tabla 21 Prueba post hoc Longitud de raíz por nivel

Comparaciones múltiples						
Variable dependiente: Longitud de Raíz (cm)						
HSD Tukey						
(I) Nivel	(J) Nivel	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
Alto	Bajo	-,831	1,4302	,831	-4,297	2,635
	Medio	-2,144	1,4302	,301	-5,610	1,322
Bajo	Alto	,831	1,4302	,831	-2,635	4,297
	Medio	-1,313	1,4302	,632	-4,779	2,154
Medio	Alto	2,144	1,4302	,301	-1,322	5,610
	Bajo	1,313	1,4302	,632	-2,154	4,779

Fuente: Autores mediante programa IBM SPSS statistics

En la gráfica 16 se evidencia que el mejor crecimiento de la raíz y desarrollo ocurrió en el nivel medio, respecto a los otros niveles *alto* y *bajo*.

Gráfica 16 Medias marginales estimadas de Longitud de raíz por nivel



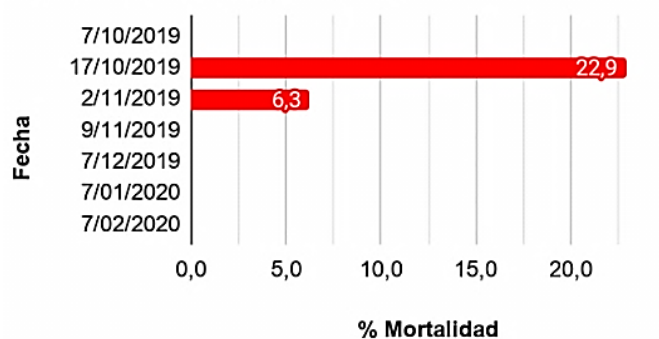
Fuente: Autores mediante programa IBM SPSS statistics

6.3.2. Factores externos que afectaron la especie de apio (*Apium graveolens*)

▪ Mortalidad por cambios fisicoquímicos y plagas

Gráfica 17 Mortalidad por mes

% Mortalidad por mes



Fuente: Autores

En la gráfica 17 se puede evidenciar que los meses en donde hubo mortalidad fue el mes de octubre con un 22.9% donde se atribuye debido al cambio de características fisicoquímicas del suelo, tanto las condiciones de luz y humedad del suelo ya que la adecuación del cultivo fue en laboratorio y noviembre con un 6.3% donde se atribuye la

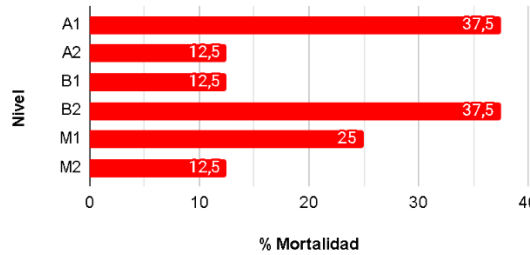
muerte por la presencia del pulgón y a la adaptabilidad de las plantas.

Para el mes de octubre se evidencia que cada uno de los colchones tuvo un porcentaje de mortalidad relevante de 37.5% para A1 y B2, 25% para M1 y 12.5% para A2, B1 y M2 y para el mes de noviembre se evidencia un 12.5% de mortalidad para los colchones A2, B1 y M1. Como se puede observar en las gráficas 18 y 19.

Para cada uno de estos meses se realizó el reemplazo de cada plántula muerta, por una con el mismo tiempo de crecimiento.

Gráfica 18 Mortalidad para el mes de octubre

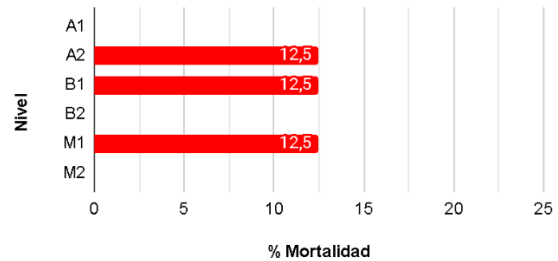
% Mortalidad 17/10/2019



Fuente: Autores

Gráfica 19 Mortalidad para el mes de octubre

% Mortalidad 2/11/2019

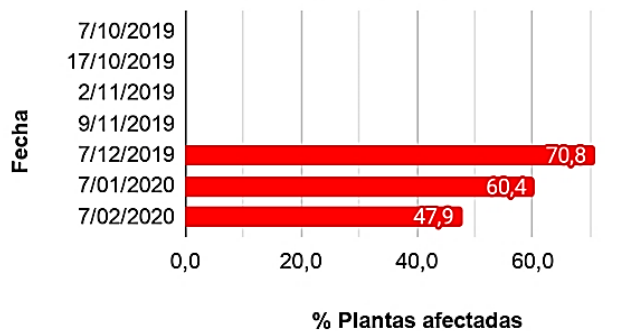


Fuente: Autores

■ **Porcentaje de afectación en las plantas por pulgón**

Gráfica 20 %Afectación pulgón febrero

% Afectación por pulgón por mes



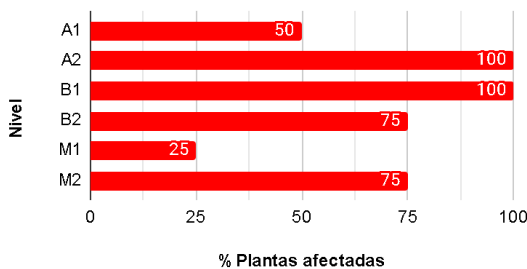
Fuente: Autores

En la gráfica 20 se puede inferir la presencia de un insecto llamado pulgón con una afectación de plantas del 70.8% en el mes de diciembre, 60.4% en el mes de enero y 47.9% en el mes de febrero

Para el nivel A1 se observó una disminución de afectación del 25%, para el nivel A2 del 37.5% con respecto a los meses de

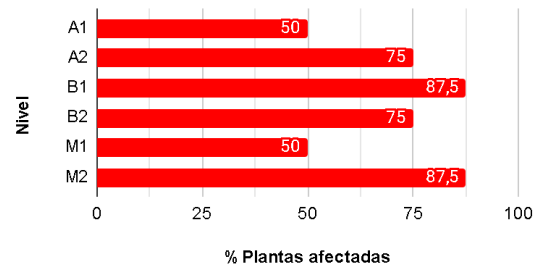
diciembre a febrero; en el nivel B1 la reducción de afectación fue del 12.5% de diciembre a enero pero vuelve a reincidir de enero a febrero; en el nivel B2 se evidencia un incremento de afectación del 12.5% de diciembre a febrero; para el nivel M1 hay un incremento de afectación del 25% de diciembre a enero y una reducción del 35% de enero a febrero; y para el nivel M2 se mostró un incremento de afectación del 12% de noviembre a diciembre y una reducción del 87.5% de enero a febrero. Como se puede observar en las gráficas 21, 22 y 23.

Gráfica 21 %Afectación pulgón enero
% Afectación por pulgón 7/12/2019



Fuente: Autores

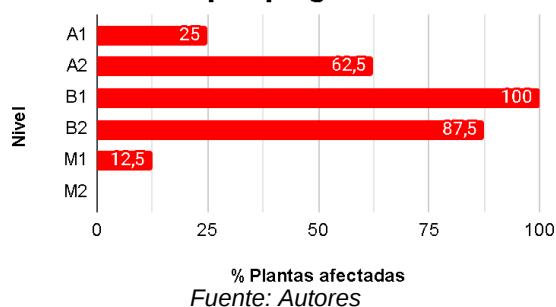
Gráfica 22 %Afectación pulgón diciembre
% Afectación por pulgón 7/01/2020



Fuente: Autores

Gráfica 23 %Afectación pulgón por mes

% Afectación por pulgón 7/02/2020



7. Pertinencia e impacto social

- La economía del municipio se basa en la producción agropecuaria. Sus fuentes principales de ingreso son la ganadería de conservación, agricultura con proyectos de agricultura orgánica y la minería. Las fuentes de empleo de la población corresponden a la actividad comercial en crecimiento, ecoturismo, empleos en puestos de salud, colegios, transporte público, promoción de mercados verdes y ventas callejeras. La economía rural es sustentada por los cultivos agrícolas como, el maíz, caña, panela, café, plátano y frutales. [60]
- El proyecto busca contribuir al desarrollo de la economía rural del municipio de Jerusalén-Cundinamarca, ya que este municipio presenta niveles altos de salinidad provocando una reducción en su capacidad de uso de suelo para su desarrollo en la agricultura, es por esta razón que se dio la iniciativa del proyecto para conocer la capacidad de desarrollo de la especie apio (*Apium graveolens*) en tres niveles de salinización del suelo, obteniendo resultados favorables para el nivel de salinidad del medio identificado, en aras de que en el futuro se pueda hacer recuperación de suelos calcáreos con el fin de que los suelos sean más aptos para el laboreo.

8. Conclusiones

- Gracias a los parámetros que indican la presencia de carbonatos en el suelo se hizo la realización para los niveles *alto*, *medio* y *bajo* identificados en el mapa de saturación de bases de la CAR, la UDCA y el IDEAM, como lo es el pH donde se identificó neutro entre las muestra con valores de 7.8, 7.68 y 6.9 respectivamente, la conductividad eléctrica registrada es de 1.04, 0.32, y 0.45 dS/m respectivamente y adición de *HCl* al 10% utilizado en campo donde se evidenció efervescencia gracias a la reacción entre el ácido y la base identificando así un suelo calcáreo.

Por lo consiguiente se realizaron laboratorios con las muestras recolectadas donde con el método de carbonatos totales y haciendo la comparación de los resultados obtenidos con la tabla de clasificación de clase de salinidad del IDEAM se pudo identificar los tipos de niveles.

- Se determinó mediante la metodología de carbonato de calcio la obtención de resultados fluctuantes del $\%CaCO_3$ durante los cuatro meses del experimento por tratamientos, en donde es posible concluir que los niveles presentaron un incremento en el porcentaje de carbonato de calcio, atribuyéndose este incremento a la migración de los carbonatos en el suelo a la superficie; respecto la reacción de la especie apio (*Apium graveolens*) se concluye que, aunque es tolerable a los tres niveles evaluados, las variables analizadas no evidencian que reduzca las concentraciones de $\%CaCO_3$ del suelo.
- Se concluye que la especie apio (*Apium graveolens*) es tolerable a los tres niveles de salinidad evaluados, con los resultados obtenidos se evidencia que el mejor crecimiento y desarrollo de la especie se vio reflejado en los suelos de nivel medio, seguidos del nivel bajo y alto. Por lo cual se recomienda cultivar esta especie en concentración de carbonatos de calcio promedio entre 7.61 a 21.02 $\%CaCO_3$ como lo puede llegar a ser el departamento de Córdoba.

9. Recomendaciones

- Respecto al cultivo en general es recomendable controlar las variables externas como lo pueden ser las plagas debido a que pueden alterar los resultados esperados.
- Se recomienda que para futuras investigaciones relacionadas con la recuperación de suelos implementando la especie apio (*Apium graveolens*) se amplíe el tiempo de experimentación en el cual la planta llegue al término de madurez.
- Se recomienda realizar experimentación con otros tipos de salinidad para evaluar la capacidad de biorremediación de la especie (*Apium graveolens*).
- Se recomienda realizar análisis químicos a las raíces de las plantas y sus tallos.
- Para próximos estudios se recomienda buscar otra metodología que sustituya el uso del *HCl*, debido a que es un material costoso, de difícil acceso y porque puede llegar a ser bastante contaminante. Con el fin de poder realizar mayor número de repeticiones.

10. Bibliografía

- [1] FAO, 2018. [En línea]. Available: <http://www.fao.org>. [Último acceso: 21 septiembre 2018].
- [2] CAR, IDEAM & UDCA, «Protocolo para la identificación y evaluación de la degradación de suelos por salinización,» Bogotá D.C, 2017.
- [3] F. A. S. a. M. M. Q. N. A. AL-Quraan, «Characterization of γ -aminobutyric acid metabolism and oxidative damage in wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings under salt and osmotic stress, » *Journal of Plant Physiology*, vol. 170, n° 11, pp. 1003-1009, 2013.
- [4] OMS, 2018. [En línea]. Disponible: <http://www.who.int>. [Último acceso: 22 septiembre 2018].
- [5] ONU, 2018. [En línea]. Disponible: <http://www.un.org>. [Último acceso: 22 septiembre 2018].
- [6] D. G. Strawn, H. L. Bohn, and G. A. O'Connor, *Soil Chemistry*. Somerset: John Wiley & Sons, Incorporated, 2015.
- [7] MADS, IDEAM & UDCA *ESTUDIO NACIONAL DE LA DEGRADACIÓN DE SUELOS POR EROSIÓN EN COLOMBIA 2015*. [En línea] Disponible en: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023648/Sintesis.pdf>
- [8] ZoBell Claude "RINE ECOLOGY PROGRESS SERIES". Publicado en diciembre de 2015 [En línea]. Disponible en: <https://www.int-res.com/articles/meps/58/m058p001.pdf>
- [9] MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. "DECRETO NÚMERO (4741).30 de diciembre de 2005"
- [10] M. Qadir, A. Ghafoor, and G. Murtaza, "Use of saline-sodic waters through phytoremediation of calcareous saline-sodic soils," vol. 50, no. 3. pp. 197–210, 2001, doi: [https://doi-org.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/10.1016/S0378-3774\(01\)00101-9](https://doi-org.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/10.1016/S0378-3774(01)00101-9)
- [11] CAR, IDEAM & UDCA "INFORME FINAL ESTRATEGIAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA POLÍTICA PARA LA GESTIÓN SOSTENIBLE DE LOS SUELOS Tema Salinización" [En línea]: Disponible en: <https://sie.car.gov.co/handle/20.500.11786/35983>
- [12] CAR, IDEAM & UDCA "MAPA NACIONAL DE DEGRADACIÓN DE SUELOS POR SALINIZACIÓN 2017" [En línea]: Disponible en: [http://www.ideam.gov.co/documents/24277/69989379/Lanzamiento+mapa+Salinizacion+FN+O+PT.pdf/624515d0-799d-41ef-b1ef-bb7e868680f3#:~:text=\(E%3A1%3A100.000\),en%20la%20soluci%C3%B3n%20del%20suelo.&text=%E2%86%92%20Proceso%20de%20degradaci%C3%B3n%20qu%C3%ADmica,salinizaci%C3%B3n%20La%20Guajira%2D%20Colombia](http://www.ideam.gov.co/documents/24277/69989379/Lanzamiento+mapa+Salinizacion+FN+O+PT.pdf/624515d0-799d-41ef-b1ef-bb7e868680f3#:~:text=(E%3A1%3A100.000),en%20la%20soluci%C3%B3n%20del%20suelo.&text=%E2%86%92%20Proceso%20de%20degradaci%C3%B3n%20qu%C3%ADmica,salinizaci%C3%B3n%20La%20Guajira%2D%20Colombia).
- [13] Gobierno federal de México. SALINIDAD DEL SUELO. 2010. Disponible en: <https://www.cofupro.org.mx/cofupro/images/contenidoweb/indice/publicaciones-nayarit/FOLLETOS%20Y%20MANUALES/FOLLETOS%20IMTA%202009/folleto%206%20salinidadelsuelo.pdf>
- [14] H.W Fassbender, *Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina*, EDITORIAL IICA 1975
- [15] Andrades. M & Martínez E "FERTILIDAD DEL SUELO Y PARÁMETROS QUE LA DEFINEN" Tercera edición Universidad de la Rioja 2014 [En línea] Disponible en: Dialnet-Fertilidad Del Suelo Parámetros QueLaDefinen-267902.pdf.
- [16] Flores. E, CFlores. J & Tórrez.J *Recuperación de suelos salinos con la incorporación de sulfato de calcio hemidrato (Ca (SO₄)1/2H₂O) en la comunidad de Yotala* 2014 [En línea] Disponible

- en: <http://www.ecorfan.org/bolivia/handbooks/ciencias%20tecnologicas%20I/Articulo%2014.pdf>
- [17] Colacelli, M. 2000. Uso del suelo. Editorial de la facultad de Agronomía y Zootecnia U.N.T.
 - [18] Sánchez, E & Curetti, M. *Los suelos salinos y sódicos Características y diferenciación Modos de recuperación y recomendaciones*. [En línea] Disponible en: https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_los_suelos_salinos_y_sdicos_fruticultura_diver.pdf
 - [19] Rosario a. & Santacruz R. EVALUACIÓN DE ACTIVIDADES ANTRÓPICAS QUE INCIDEN EN LAS PROPIEDADES FÍSICO QUÍMICAS DEL AGUA DE LA QUEBRADA LA TORCAZACORREGIMIENTO EL ENCANO, MUNICIPIO DE PASTO- NARIÑO. Universidad de Manizales 2017 [En línea]. Disponible en: <http://ridum.umanizales.edu.co:8080/jspui/bitstream/6789/3153/1/DOCUMENTO%20PRINCIPAL.pdf>
 - [20] González, Piana, Mauricio. Biorremediación y tratamiento de efluentes, El Cid Editor | apuntes, 2009. ProQuest Ebook Central, [En línea]. Disponible en: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/bibliotecaustasp/detail.action?docID=3180124>.
 - [21] Martin A. Biodegradation and bioremediation. San Diego, Calif. London: Academic Press, 1999. <http://www.worldcat.org/title/biodegradation-and-bioremediation/oclc/963770676/viewport>.
 - [22] Rosario a. & Santacruz R. EVALUACIÓN DE ACTIVIDADES ANTRÓPICAS QUE INCIDEN EN LAS PROPIEDADES FÍSICO QUÍMICAS DEL AGUA DE LA QUEBRADA LA TORCAZACORREGIMIENTO EL ENCANO, MUNICIPIO DE PASTO- NARIÑO. Universidad de Manizales 2017. [En línea]. Disponible en: <http://ridum.umanizales.edu.co:8080/jspui/bitstream/6789/3153/1/DOCUMENTO%20PRINCIPAL.pdf>
 - [23] K. C. Ravindran, K. Venkatesan, V. Balakrishnan, K. P. Chellappan, T. Balasubramanian, "Restoration of saline land by halophytes for Indian soils," *Soil Biology and Biochemistry*, vol. 39, no. 10, pp. 2661-2664, 2007.
 - [24] Hernández G, Álvarez N & Ríos L. Biorremediación de organofosforados por hongos y bacterias en suelos agrícolas: revisión sistemática 2015 [En línea]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/ccta/v18n1/v18n1a09.pdf>.
 - [25] Phytoremediation Using Plants To Clean Up Soils. *Agricultural Research*/June 2000 [En línea]. Disponible en: <https://agresearchmag.ars.usda.gov/ar/archive/2000/jun/soil0600.pdf>.
 - [26] Ahmad et al., 1990 N. Ahmad, RH Qureshi, M. Qadir *Mejoramiento de un suelo salino-sódico calcáreo por yeso y plantas forrajeras. Land Degrad. Rehabilitación*, 2 (1990), págs.277-284
 - [27] Z. Ke-Fu, "Desalinization of saline soils by Suaeda salsa," *Plant and Soil*, vol. 135, no. 2, pp. 303–305, 1991. <https://doi.org/10.1007/BF00010921>
 - [28] K. C. Ravindran, K. Venkatesan, V. Balakrishnan, K. P. Chellappan, and T. Balasubramanian, "Restoration of saline land by halophytes for Indian soils," *Soil Biology and Biochemistry*, vol. 39, no. 10, pp. 2661–2664, 2007.
 - [29] M. Rabhi, O. Talbi, A. Atia, A. Chedly, A. Smaoui, "Selection of halophyte that could be used in the bio reclamation of salt affected soils in arid and semi-arid regions," *Biosaline Agriculture and High Salinity Tolerance*, pp. 242-246, 2008.
 - [30] Martin A. "Biodegradation and bioremediation. San Diego, Calif. London: Academic Press, 1999. [En línea] Disponible en: <http://www.worldcat.org/title/biodegradation-and-bioremediation/oclc/963770676/viewport>.

- [31] Y. Li et al., “*Abandoned reverse osmosis membrane effects on phytoremediation of saline soils with trees*,” vol. 84. pp. 660–667, 2015, doi: <https://doi-org.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/10.1016/j.ecoleng.2015.09.039>.
- [32] Oficina de Estudios Económicos, «Perfil económico de Colombia,» Bogotá D.C
- [33] Ramos. J PRINCIPALES PLAGAS Y ENFERMEDADES DEL CULTIVO DEL APIO (APIUM GRAVEOLENSVAR. DULCE) 1999 [En línea] Disponible en: <http://repositorio.uaaen.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/3673/T10982%20RAMOS%20DUARTE,%20JOSE%20GABRIEL%20%20%20TESIS.pdf?sequence=1>
- [34] Infoplagas de INTA Villa María. Marzo de 2010, N° 184. [En línea] Disponible en: http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pasturas_combate_de_plagas_y_malezas/135-trips.pdf
- [35] Carrera M, Galán. S et al Prontuario de agricultura Ministerio de agricultura pesca y alimentación. 2005 [En línea] Disponible en: <https://books.google.com.co/books?id=Glts8S4zuWAC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=true>
- [36] Jerusalén “Alcaldía de Jerusalén Cundinamarca,”. [En línea]. Disponible en: <http://www.jerusalen-cundinamarca.gov.co/municipio/nuestro-municipio>.
- [37] CAR “DIAGNÓSTICO SALINIZACIÓN JURISDICCIÓN CAR Sulma Alexandra Gómez Bello Contrato 143/16 Grupo Biodiversidad” [En línea]: Disponible en: <https://www.car.gov.co/uploads/files/5b903f4fa4d1e.pdf>
- [38] CAR, IDEAM & UDCA “MAPA NACIONAL DE DEGRADACIÓN DE SUELOS POR SALINIZACIÓN 2017” [En línea]: Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/documents/24277/69989379/Lanzamiento+mapa+Salinizacion+FN+O+PT.pdf/624515d0-799d-41ef-b1ef-bb7e868680f3>
- [39] IGAC “GUÍA DE MUESTREO” [En línea]: Disponible en: <https://www.igac.gov.co/sites/igac.gov.co/files/guiademuestreo.pdf>
- [40] CAR “METODOLOGIAS DE TOMA DE MUESTRAS PARA DEGRADACIÓN DE SUELOS Y ENVÍO A LABORATORIO Y/O IN SITU PARA DIAGNÓSTICO RÁPIDO” [En línea]: Disponible en: <https://www.car.gov.co/uploads/files/5bdc6f1761897.pdf>
- [41] Marcelo Germán Wilson. “Manual de indicadores de calidad del suelo para las ecorregiones de Argentina” [En línea] Disponible en: https://inta.gob.ar/sites/default/files/manual_ics_final.pdf
- [42] Aragón Alimentos “Nuevas técnicas para la medida rápida y sencilla de la salinidad del suelo [En línea] Disponible en: https://citarea.cita-aragon.es/citarea/bitstream/10532/979/1/10532-104_22.pdf
- [43] “Rodríguez. M, Aramendia. A & Rodríguez. A “Prácticas de Edafología Métodos didácticos para análisis de suelos” [En línea] Disponible en: Dialnet-Practicas De Edafologia-580696%20(1).pdf.
- [44] Instituto Geográfico Agustín Codazzi. “Métodos analíticos de Laboratorio de suelos 2006” Subdirección Agrológica. 6a Ed. Bogotá D.C. 648 pg
- [45] Salamanca. A & Sadeghian. S “LA DENSIDAD APARENTE Y SU RELACIÓN CON OTRAS PROPIEDADES EN SUELOS DE LA ZONA CAFETERA” [En línea] Disponible en: <https://www.cenicafe.org/es/publications/arc056%204%29381-397.pdf>
- [46] ESPE “DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD DEL SUELO (MÉTODO GRAVIMÉTRICO)” [En línea] Disponible en: <https://es.scribd.com/document/371719527/Determinacion-de-La->

Humedad-Del-Suelo-Metodo-Gravimetrico.

- [47] García. J, & Ballesteros. M "QUALITY PARAMETERS EVALUATION FOR ORGANIC CARBON DETERMINING IN SOILS" [En línea] Disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/13329/1/820-4921-1-PB.pdf>
- [48] INVIAS "ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR MEDIO DEL HIDRÓMETRO I.N.V. E - 124-07"
- [49] NVIAS "DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS SUELOS Y DEL LLENANTE MINERAL" I.N.V. E – 128 – 07
- [50] Osorio NW "pH DEL SUELO Y DISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES" [En línea] Disponible en: <https://www.bioedafologia.com/sites/default/files/documentos/pdf/pH-del-suelo-y-nutrientes.pdf>
- [51] West Analítica y Servicio S.A de C.V. "EL pH DEL SUELO CONCEPTOS FUNDAMENTALES" [En línea] Disponible en: <https://westanalitica.com.mx/wp-content/uploads/2018/08/EL-pH-DEL-SUELO.-CONCEPTOS-FUNDAMENTALES.pdf>
- [52] Laboratorios A-L de México, S.A. de C.V. "EL ANÁLISIS DE PASTA SATURADA [En línea] Disponible en: https://www.academia.edu/15854129/Pasta_Saturada
- [53] Intagri *La Conductividad Eléctrica del Suelo en el Desarrollo de los Cultivos* [En línea] Disponible en: <https://www.intagri.com/articulos/suelos/la-conductividad-electrica-del-suelo-en-el-desarrollo-de-los-cultivos>.
- [54] Navarro. S & Navarro. G "QUÍMICA AGRÍCOLA EL SUELO Y LOS ELEMENTOS QUÍMICOS ESENCIALES PARA LA VIDA VEGETAL SEGUNDA EDICIÓN" MP 2003 [En línea] Disponible en: https://www.academia.edu/11618245/Qu%C3%ADmica_Agr%C3%ADcola_Segunda_Edici%C3%B3n?auto=download
- [55] Jaramillo. D "INTRODUCCIÓN A LA CIENCIA DEL SUELO" Universidad Nacional de Colombia Medellín 2002 [En línea] Disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/2242/1/70060838.2002.pdf>
- [56] Anónimo "MANUAL DE TÉCNICAS DEL SUELO" [En línea] Disponible en: https://www.academia.edu/3653309/Analisis_F%C3%ADsicos_y_Quimicos_en_el_Suelo?email_work_card=view-paper
- [57] FAO "GUÍA PARA LA DESCRIPCIÓN DE LOS SUELOS" ROMA 2009 [En línea] Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-a0541s.pdf>
- [58] FAO "EL MANEJO DE LOS SUELOS CALCAREOS" [En línea] Disponible en: <http://www.fao.org/soils-portal/soil-management/manejo-de-suelos-problematicos/suelos-calcareos/es/>
- [59] Lallana. C "Unidad Temática 7: CRECIMIENTO" Universidad Nacional de Entre Ríos 2004 [En línea] Disponible en: http://www.fca.uner.edu.ar/files/academica/deptos/catedras/WEBFV_2010/mat_did/UT7.pdf.
- [60] "Alcaldía de Jerusalén Cundinamarca," *Jerusalén*. [En línea]. Disponible en: <http://www.jerusalen-cundinamarca.gov.co/municipio/nuestro-municipio>.
- [61] FAO "Propiedades Físicas del Suelo" [En línea] Disponible en: <http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/>
- [62] UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO "Manual de Procedimientos Analíticos 2010" [En línea] Disponible en: <http://www.geologia.unam.mx/igl/deptos/edafo/lfs/MANUAL%20DEL%20LABORATORIO%20D>

E%20FISICA%20DE%20SUELOS1.pdf

- [63] López. M & Estrada. H “Propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo” [En línea] Disponible en:
<http://www.ccba.uady.mx/bioagro/V8N1/BC%208.1%20Propiedades%20del%20suelo.pdf>
- [64] Khan Towhid Osma “Soils: Principles, Properties and Management” Springer 2013 [En línea] Disponible en:
https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=pZ0rVya6CW4C&oi=fnd&pg=PR7&dq=principles,+properties+and+management&ots=8aVPfID4i0&sig=jvYGdy2QZDYr_DrijNG7Q9rMes8#v=onepage&q=principles%2C%20properties%20and%20management&f=false
- [65] IGAC “METODOLOGÍA PARA LA CLASIFICACIÓN DE LAS TIERRAS POR SU CAPACIDAD DE USO GRUPO INTERNO DE TRABAJO LEVANTAMIENTO DE SUELOS” 2014 [En línea] Disponible en:
<http://igacnet2.igac.gov.co/intranet/UserFiles/File/procedimientos/instructivos/2014/M40100-02%2014V2%20Para%20la%20clasificacion%20de%20las%20tierras%20por%20su%20capacidad%20de%20uso.pdf>.
- [66] Lizcano, Olivera, Saavedra et. al “*Muestreo de suelos, técnicas de laboratorio e interpretación de análisis de suelos*” SENA 2017. [En línea] Disponible en:
https://www.researchgate.net/publication/323823646_Muestreo_de_Suelos_Tecnicas_de_Laboratorio_e_Interpretacion_de_Analisis_de_Suelos
- [67] INTA EEA & Ciancalini. N “INSTRUCTIVO R-001- Guía para la determinación de textura de suelos por método organoléptico” PROSAP [En línea] Disponible en:
[http://www.prosap.gov.ar/Docs/INSTRUCTIVO%20\(R-001\)-%20Gu%C3%ADa%20para%20la%20determinaci%C3%B3n%20de%20textura%20de%20suelos%20por%20m%C3%A9todo%20organol%C3%A9ptico.pdf](http://www.prosap.gov.ar/Docs/INSTRUCTIVO%20(R-001)-%20Gu%C3%ADa%20para%20la%20determinaci%C3%B3n%20de%20textura%20de%20suelos%20por%20m%C3%A9todo%20organol%C3%A9ptico.pdf)
- [68] López. M & Estrada. H “Propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo” [En línea] Disponible en:
<http://www.ccba.uady.mx/bioagro/V8N1/BC%208.1%20Propiedades%20del%20suelo.pdf>
- [69] Fertilidad Física de los Suelos”. Miguel A. Taboada y Carina R. Álvarez. 2da Edición junio 2008.
- [70] Garrido. M “INTERPRETACIÓN DE ANÁLISIS DE SUELOS” Ministerio de Agricultura pesca y Alimentación [En línea] Disponible en:
https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1993_05.pdf
- [71] Valencia. C & Huertas. L “ANÁLISIS DE GRANULOMETRÍA POR HIDRÓMETRO Y UN MÉTODO AUTOMATIZADO PARA SUELOS BENTONÍTICOS” 2018. [En línea] Disponible en:
<https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/22885/1/Trabajo%20de%20Grado.pdf>
- [72] Jinweon Suk, Seokhoon Kim, & Intae Ryoo “Non-Contact Plant Growth Measurement Method and System Based on Ubiquitous Sensor Network Technologies” Published on 2011 Apr 13. doi: 10.3390/s110404312” [En línea] Disponible en:
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3231316/>.
- [73] CAR, “SOBRE EL MUNICIPIO” [En línea]. Disponible en:
<https://www.car.gov.co/jerusalen/vercontenido/3>.

Anexo A: Procedimientos para determinación de laboratorios

A continuación, se muestra en los diagramas 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8 con los procedimientos para llevar a cabo la determinación de cada uno de los métodos de análisis mencionados en la tabla 7.

A.1. Determinación de conductividad eléctrica (CE) y pH en suelos

El procedimiento inició pesando 100 g de suelo, seguido a esto se adicionó 200 mL agua destilada por muestra y se agitó durante 10 minutos a fin de obtener una pasta saturada, dejando en reposo por 30 minutos, pasado este tiempo se procedió a hacer filtración de cada muestra con bomba de extracción al vacío y se realizó las mediciones con el multiparámetro y las tirillas de pH.

Diagrama 2 Determinación de pH y conductividad eléctrica (CE)



Fuente: Autores

A.2. Determinación de carbonatos totales

Para la determinación de los carbonatos en las muestras de suelos se emplearon reactivos HCl al 1 N e $NaOH$ al 1 N y azul de bromotimol como indicador, dentro de los materiales de laboratorio se implementaron: Erlenmeyer de 125 mL, embudo, bureta de 50 mL, pipeta de 25 mL mezclador magnético, base universal, pesa de precisión 0.1, y tamiz de 2 mm.

Las muestras analizadas en laboratorio corresponden a los cinco muestreos realizados durante el periodo de estudio por cada colchón de siembra, por lo que se analizó 27 muestras de suelo con dos repeticiones por cada una; el primer paso para la determinación de los carbonatos correspondió al secado natural de las muestras de suelo, seguido pasándolas por el tamiz N° 10 (2 mm) esto a fin de garantizar la homogenización de las partículas de carbonatos existentes en el suelo de análisis, luego se pesó 2.5 g de suelo de cada muestra y se puso en un Erlenmeyer de 150 mL, después se adicionó 50 mL de HCl y se llevó agitador magnético a 850 rpm durante 10 minutos, seguidamente se

dejó en reposo durante 4 horas y se procedió a realizar la titulación con *NaOH* tomando una muestra de la mezcla sobrenadante de 20 mL y añadiendo 3 gotas de azul de bromotimol con el fin de que la muestra cambie a un viraje azul y tomando así la medida del consumo de *HCl*. [69]:

Ya que el *HCl* se encontraba en solución concentrada de un 37% se realizó la disolución de este llevándolo hasta 1 N, implementando la ecuación siguiente.

La ecuación A1 fue utilizada para hallar el equivalente gramo litro del ácido clorhídrico (*HCl*) con una concentración del 37%

$$\frac{eq - g}{L} = \left(\frac{37g \text{ HCL}}{100g \text{ S/N}} \right) * \left(\frac{1,19g/L \text{ S/N}}{1 \text{ mL S/N}} \right) * \left(\frac{1000 \text{ mL}}{1 \text{ L}} \right) * \left(\frac{1 \text{ mol de HCL}}{36,46g \text{ HCL}} \right) * \left(\frac{1 \text{ eq - g}}{1 \text{ mol HCL}} \right) = \left(\frac{12,07 \text{ eq - g}}{1 \text{ L}} \right)$$

A-1

En donde:

Densidad = 1.19 g/L / ácido clorhídrico (*HCl*) al 37%

Masa molar ácido clorhídrico (*HCl*) = 36.46 g/mol

Para saber la cantidad de ácido clorhídrico (*HCl*) al 37% que se debe utilizar para preparar una solución al 1N en 1000 mL de agua destilada es usada la ecuación de disolución.

$$C_1 * V_1 = C_2 * V_2$$

A-2

En donde:

$C_1 * C_2$: son las concentraciones respectivas

$V_1 * V_2$: Volumen.

Despejando y reemplazando se obtuvo:

$$V_1 = \frac{1000 \text{ mL} * 1N}{12.07 \text{ N}} = 82.85 \text{ mL}$$

A-3

Por lo que añade 82.85 mL de *HCl* de una concentración del 37%, llevando al aforo con agua destilada a 1000 mL para preparar una disolución de *HCl* a una concentración de 1N.

En seguida se encuentra el diagrama 3 el cual muestra el proceso de laboratorio para la medición de carbonatos en el suelo.

Para calcular el porcentaje total de %*CaCO*₃ en el suelo se implementó la siguiente ecuación:

$$\%CaCO3 = \frac{1(mL \text{ HCL} * N - mL \text{ NaOH} * N) * 5.004}{g \text{ (muestra)}} \quad \text{A-4}$$

Donde:

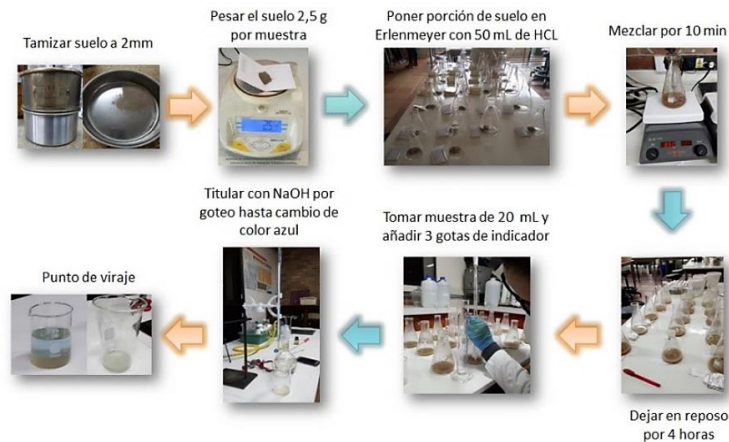
mL *HCl*: Es la cantidad de muestra sobrenadante tomada

mL *NaOH*: Consumo en la titulación

N: Normalidad

5.004: meq químico del *CaCO*₃ multiplicado por 100

Diagrama 3 Medición de carbonatos en el suelo



Fuente: Autores

A.3. Determinación de densidad real (D_s)

La densidad real es la relación entre la masa del suelo por unidad de volumen real de las partículas y varía con la proporción de elementos que constituyen el suelo.

Su determinación es obtenida con el peso seco de una muestra de suelo y el volumen de los sólidos mediante el principio de Arquímedes.

Para esta determinación en laboratorio se realizó para tres muestras correspondientes a los puntos de muestreos donde con un picnómetro de 50 mL se pesó completamente seco, seguidamente se adicionaron 2 g de suelo seco al picnómetro y se pesó, se adiciona $\frac{1}{3}$ del volumen del picnómetro de agua destilada llevando al vacío por 30 minutos seguidamente se completa a $\frac{2}{3}$ del volumen y se llevó nuevamente al vacío y por último se lavó el picnómetro se llenó de agua destilada y se pesó. [44]:

Para calcular la densidad real se utiliza la siguiente fórmula:

$$D_s = \frac{(M_{pss} - M_{pv})DW}{(M_{pw} - M_{pv}) - (M_{pssw} - M_{pss})} \quad A-5$$

Donde:

D_s : Densidad de las partículas o densidad específica en g/cc

DW: Densidad del agua

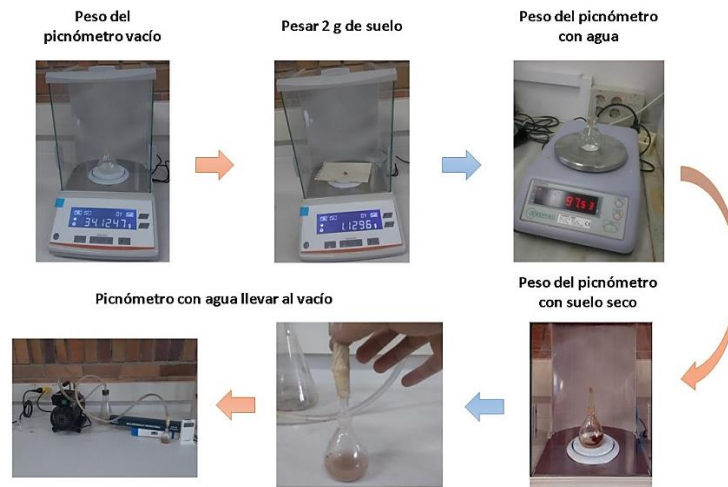
M_{pv} : Masa del picnómetro seco

M_{pss} : Masa del picnómetro más suelo seco

M_{pssw} : Masa del picnómetro más suelo, lleno de agua

M_{pw} : Masa del picnómetro lleno de agua.

Diagrama 4 Determinación de densidad real



Fuente: Autores

A.4. Determinación de densidad aparente (DA)

Los materiales y utensilios utilizados en el desarrollo del laboratorio corresponden a: probeta de 500 mL, pesa de precisión 0.1, parafina y terrones de suelo.

El método utilizado para calcular la densidad aparente de las muestras de suelo es terrón parafinado, para este laboratorio se utilizaron terrones de suelo de la primera muestra de tomada en campo, es decir nueve muestras una por cada costal muestreado, para dar inicio al desarrollo de la metodología primero se seleccionaron los terrones, consecutivo a esto se pesó cada uno de ellos y se tomó nota, después cada uno de los terrones se recubrió con parafina para impermeabilizarlos, garantizando que no quedase algún espacio del terrón sin parafina a fin de evitar que el agua se filtró en la muestra, luego se tomó un volumen de agua en una probeta de 500 mL y se llenó con agua hasta 300 mL, continuo a esto se puso uno por uno de los terrones parafinados en la probeta y se realizó la lectura del volumen de agua incrementada, se tomaron los datos y se realizaron los respectivos cálculos.

Para calcular la densidad aparente se utilizó la siguiente fórmula:

$$D_b = \frac{M_{ss}}{V_s} \quad A-6$$

Donde:

D_b : Densidad del suelo (g/cc)

M_{ss} : Peso del suelo seco (g)

V_s : Volumen del suelo (cc)

A.5. Determinación de humedad (W)

Para el desarrollo de la metodología se utilizaron los siguientes elementos y aparatos: Horno de secado con capacidad de mantener una temperatura $110 \pm 5^\circ\text{C}$, balanza de precisión 0.1 g, cápsulas con material resistente a la corrosión y al cambio de peso si es sometido a cambios de temperatura, utensilios para la manipulación de las capsulas, guantes, pinzas y espátulas.

La metodología utilizada para el cálculo de la humedad del suelo es conocido como método gravimétrico, en donde se da inicio con el secado natural de las muestras de suelo, seguido a esto se realizó el pesaje de cada cápsula que va a ser empleada, después se pesó 20 g de suelo por cada muestra en cada cápsula, luego se llevó al horno a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$ durante 24 horas con el fin de garantizar que no quedara humedad en las muestras de suelo, pasado el tiempo en el horno se sacaron las muestras y se pesaron anotando los resultados y para el desarrollo de los cálculos para obtener el porcentaje de humedad. Para calcular el porcentaje de humedad se utilizó la siguiente fórmula:

$$\%W = \frac{\text{Peso}(\text{Cápsula+muestra}) - \text{Peso}(\text{Cápsula+peso muestra seca})}{\text{Peso}(\text{Cápsula +muestra seca}) - (\text{Peso de cápsula})} \quad \text{A-7}$$

A continuación, se muestra el diagrama 5 del procedimiento para la determinación del porcentaje de humedad en el suelo.



A.6. Determinación de porosidad

Para llegar a la determinación de este parámetro se requiere conocer la densidades real y aparente previamente y se obtiene mediante el cálculo de la siguiente ecuación: [44]

$$\%EP = 100 * \frac{Da}{Dr} \quad \text{A-8}$$

%EP: Porcentaje de espacio poroso

Da : Densidad aparente del suelo (g/cc)

Dr : Densidad real del suelo (g/cc)

A.7. Determinación de materia orgánica

La materia orgánica está compuesta por microorganismos, restos no descompuestos de plantas y animales, materiales resultantes de la descomposición de estos mismos.

El procedimiento analítico de Walkley-Black se lleva a cabo con K_2CrO_7 el cual reacciona con la materia orgánica y el exceso de esta sustancia que no ha hecho reacción se

determina por reacción oxido reducción con $FeSO_4$ como agente reductor, con este procedimiento se oxida el 77% del carbono que se recuperaría por combustión. [47]

Este es el procedimiento llevado a cabo para la determinación con carbono orgánico, se pasó una muestra de suelo por el tamiz número 10 (2 mm) y se tomó una muestra de 0.5g de suelo colocándola posteriormente en un matraz erlenmeyer de 250 mL, posteriormente se añadió 5 mL de K_2CrO_7 2N (Dicromato de potasio) tanto a la muestra como al blanco lo que permitió valorar la solución $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ (FAS), se añadió 10 mL de H_2SO_4 (ácido sulfúrico) al 96% a los dos matraces y se agitó constantemente por un minuto, se dejó reposar aproximadamente por 30 minutos, adicionalmente se agregó 50 mL de agua destilada a los dos matraces, 1 mL de H_3PO_4 (ácido fosfórico) y 5 gotas de indicador ortofenantrolina agitando, por último se hizo la valoración con FAS hasta obtener un viraje de tonalidad oscura en el blanco y en las muestras con suelo. [44]:

Los cálculos se determinan con:

$$CO = \frac{(V-B) \cdot N \cdot 0.003 \cdot (100 + pw)}{pm} \quad A-9$$

$$MO = CO \cdot 1.724 \quad A-10$$

Donde:

CO: Contenido de carbono orgánico (%)

MO: Contenido de materia orgánica (%)

V: Volumen promedio de solución FAS empleada en el blanco (mL)

B: Volumen de solución FAS empleada en la muestra (mL)

N: Normalidad de la solución FAS

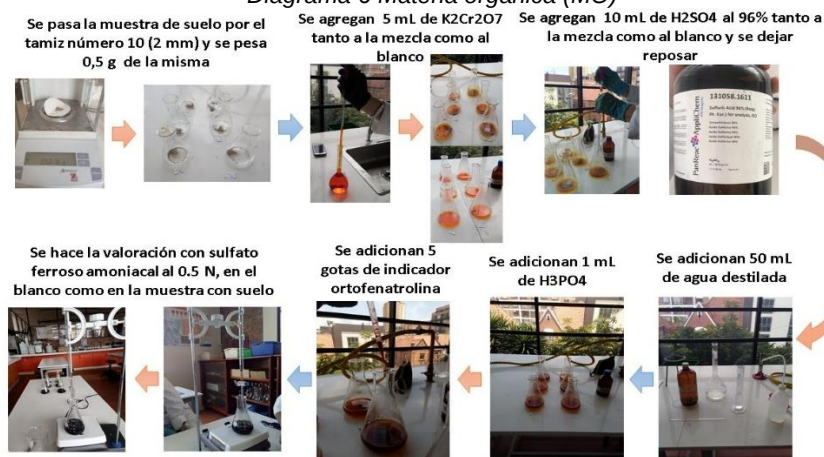
pw: Humedad análítica del suelo (%)

pm: Peso de la muestra de suelo (g)

0.003: Peso de meq de carbono (g)

1.724: Factor de conversión de Van Benmelen donde se infiere que la materia orgánica del suelo contiene un 58% de Carbono (1/0.58)

Diagrama 6 Materia orgánica (MO)



Fuente: Autores

A.8. Determinación de granulométrica por hidrómetro

Para la determinación se pasó una muestra de suelo por el tamiz número 200 (75 mm) y se tomó una muestra de 50 g de suelo, se agregó 125 mL de $\%NaPO_3$ (Hexametáfosfato de sodio) al 4% como defloculante de los sólidos, se adicionó el suelo y se hizo una mezcla para dejar en reposo por 24 horas.

Seguidamente se agitó por un minuto la mezcla en un dispersor de suelo con la precaución de no perder material en el procedimiento, seguidamente se colocó en una probeta la mezcla y llevamos a 1000 mL con agua destilada, se agitó por 60 ciclos es decir un minuto y se hizo la primera medición de temperatura e hidrómetro (152H) haciendo mediciones consecutivamente a los 2, 15, 30, 60, 120, 240, 480 y 1440 minutos, se hizo la corrección por menisco agregando 125 mL de $NaPO_3$ llevando a 1000 mL con agua destilada y se hizo la medición con hidrómetro.

Debido a la pérdida de material, la norma recomienda que se lleve la mezcla de la probeta a un recipiente, se llevó al horno por dos días para eliminar la humedad y pesar la muestra seca

Los cálculos fueron determinados con las ecuaciones siguientes y las tablas 3 y 123-2 mencionadas se encuentran en la I.N.V.E-124:

$$P = 100 * \frac{R*a}{W} \quad A-11$$

P: Porcentaje de partículas

R: Lectura del hidrómetro

a: Factor de corrección de gravedad específica (Tabla 123-1)

W: Masa de suelo seco al horno

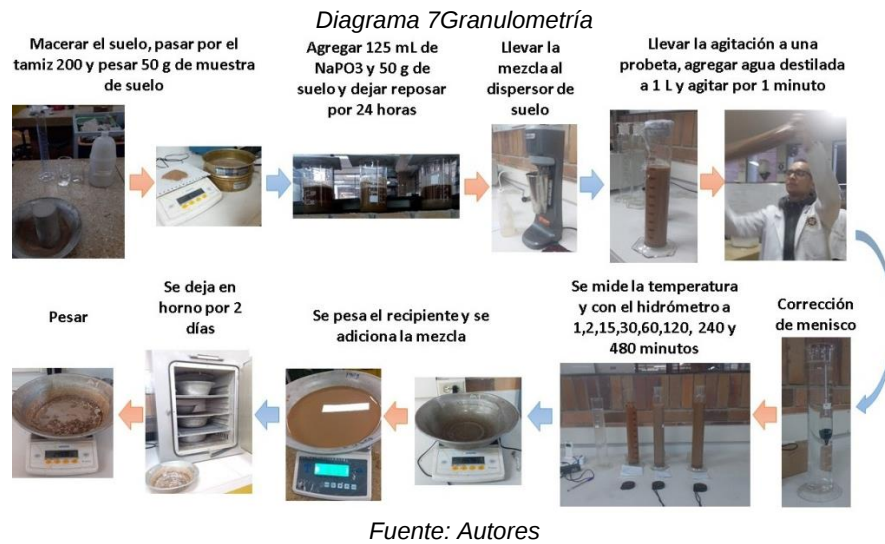
$$D = K \sqrt{\frac{L}{T}} \quad A-12$$

D = Diámetro de las partículas en (mm)

K = Constante que depende del valor de la gravedad específica del suelo y la temperatura de la suspensión

L = Distancia entre la superficie de la suspensión y el nivel cual se mide su densidad

T = Tiempo en minutos.



A.9. Determinación de gravedad específica

Para la determinación se implementó el método B - Procedimiento para especímenes secados al horno, el cual consistió en tamizar una muestra seca anteriormente al ambiente y pasarla por el tamiz número 10 (2 mm) se tomó una muestra de 25g, se pesó el picnómetro seco 250 mL y se adicionó la muestra anteriormente pesada, se agregó agua destilado o desionizada $\frac{1}{3}$ de su volumen agitando y llevando al aforo, pesando seguidamente el picnómetro más agua y suelo, se midió la temperatura; usando el método de calor y bomba de vacío con el fin de eliminar el aire, se llevó al horno y se tomó el dato de suelo seco al horno. [49]

Los cálculos se determinan con:

- a) Masa del picnómetro + agua + sólidos a la temperatura del ensayo = W_b (g).
- b) Masa suelo seco = W_s (g).

La gravedad específica de los sólidos se calcula con tres decimales, mediante la siguiente fórmula:

$$G_{20^{\circ}C} = 100 * \frac{W_s * K}{W_s + W_b - W_a} \quad A-13$$

Donde:

K = factor de corrección basado en la densidad del agua a 20°C, para expresar la gravedad específica a 20°C. Tabla 1 disponible en la norma I.N.V.E-128-07

W_a = masa del picnómetro más agua a la temperatura del ensayo de gravedad específica (g)

W_s = masa del suelo seco (g)

W_b = masa del picnómetro + agua + suelo (g), a la temperatura de ensayo.



A.10. Resultados físicos

A.10.1. Parámetros del suelo densidad aparente (DA) densidad real (Ds) porcentaje de porosidad (%EP)

La densidad aparente (DA) es la propiedad física del suelo que representa el peso por su volumen, esta propiedad tiene mayor influencia sobre la productividad de cultivos en el suelo, ya que esta permite determinar los poros existentes en él, su grado de aireación y su capacidad de drenaje, los suelos que presentan DA baja implican buen espacio poroso, buena aireación y buen drenaje, mientras que un suelo con valores de DA altos indican todo lo contrario y suelos compactos.[61] [62]

A continuación, en la tabla 22 se presentan los resultados de las propiedades (DA) (Ds) (EP).

Tabla 22 Resultados (DA) (Ds) (EP)

NIVEL	(DA) (g/cc)	(Ds)(g/c)	%EP	Clasificación %EP
MEDIO	0.90	0.91	1.10	Muy baja
BAJO	0.89	1.82	51.18	Muy alta
ALTO	1.24	1.36	9.09	Media

Fuente: Autores

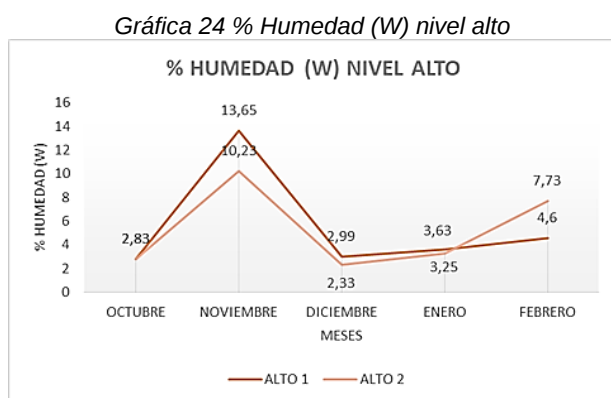
En los niveles de bajo y medio se presentan DA de 0.89 y 0.9 (g/cc) respectivamente, mientras que el nivel alto destaca una DA de 1.42 (g/cc) evidenciando un mayor grado de compactación del suelo, el porcentaje de

porosidad presente en cada uno de los niveles de suelo corresponda a nivel bajo muestra una clasificación muy alta, en el nivel medio muy baja y en el nivel alto media, siendo el nivel medio quien presenta menor porcentaje de porosidad con 1.10%, seguido del nivel alto con 9.09% y por último el nivel bajo de 51.18%, que de acuerdo con otros estudios se puede inferir que tiene poca capacidad de drenaje y presenta un suelo poco productivo, en donde se afecta principalmente el desarrollo natural de las raíces en los cultivos.[62]

Por otra parte la densidad real (Ds) representa la cantidad de sólidos por unidad de volumen en el suelo, en donde no es tomado el espacio poroso, a partir de la densidad real se puede identificar la composición mineralógica del suelo, así como contenido de materia orgánica, en donde presenta una relación inversamente proporcional a mayor contenido de materia orgánica en el suelo de menor densidad real, de acuerdo a los valores de densidad real obtenidos en el estudio el material encontrado en cada nivel del suelo bajo medio y alto corresponde a humus y arcilla respectivamente. [63] [64]

A.10.2. Humedad del suelo (%W)

La humedad del suelo es un factor determinante en el cultivo de plantas, ya que si no existe suficiente humedad en él, los cultivos llegan a sufrir estrés hídrico por la falta de disponibilidad de agua en el suelo, también puede impedir el crecimiento adecuado de las raíces de los cultivos, sin embargo existen especies de plantas que toleran porcentajes de humedad bajos y también especies que toleran saturación hídrica, cabe destacar que la humedad juega un papel muy importante en el comportamiento de otras propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. [65]

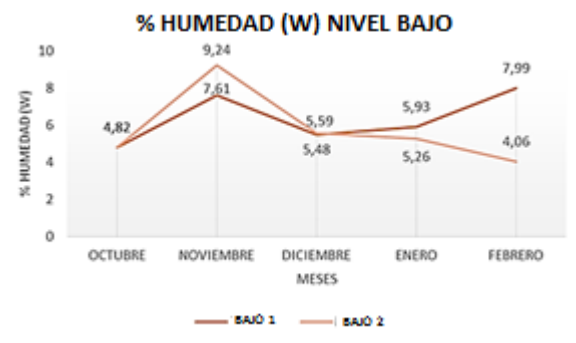


Fuente: Autores

Los porcentajes más alto de humedad registrado en el nivel alto se presentan en el mes de noviembre llegando a un 13.65% en el colchón A1 y a 10.23% en el colchón A2, un mes después de realizar la siembra, en el mes de diciembre se presenta una reducción en el porcentaje de humedad con valores próximos al inicial, en el mes de enero se genera un leve aumento

en la humedad para los dos colchones y en febrero nuevamente se evidencia un aumento aproximado del 1.77% en el colchón A1 y de 4.9% en el colchón A2, estos incrementos del mes de febrero se evalúan respecto al porcentaje de humedad inicial como se evidencia en la gráfica 24.

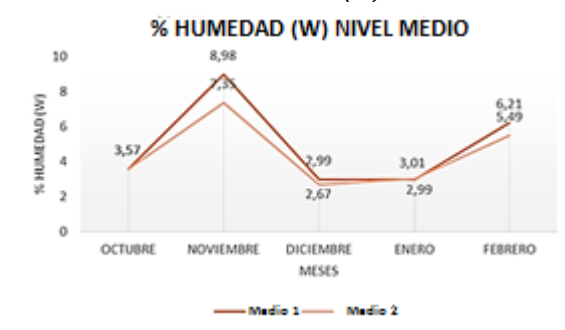
Gráfica 25 % Humedad (w) nivel bajo



Fuente: Autores

Los porcentajes de humedad más altos registrados en el nivel medio se observaron en el mes de noviembre al igual que en el nivel alto, presentando un decaimiento en el mes de diciembre del 3.65% en el colchón B2 y del 2.02% en el colchón B1 con respecto al mes de noviembre, para los meses de enero y febrero se presenta un aumento en el porcentaje de humedad llegando hasta un 7.99% en el mes de febrero en el colchón B1, sin embargo para el colchón B2 se evidencia una disminución en los meses de enero y febrero en el porcentaje de humedad llegando a un 4.06% en febrero 0.76% menos en el porcentaje de humedad inicial como se evidencia en la gráfica 25.

Gráfica 26 % Humedad (W) nivel medio



Fuente: Autores

Para el nivel bajo se evidencia un porcentaje inicial de humedad del suelo de 3.57% presentando un incremento de éste en el mes de noviembre de 5.41% en el colchón M1 y de 3.78% en el colchón M2, sin embargo para el mes de diciembre se presenta un decaimiento por debajo del porcentaje de humedad inicial de los dos colchones para el mes de enero se revela un leve

crecimiento y en el mes de febrero se registra un porcentaje de humedad superior a la inicial de 6.21% para el colchón M1 y 5.49% para el colchón M2 como se evidencia en la gráfica 26.

En todos los colchones de muestreo se evidencio un incremento en el porcentaje de humedad en el mes de noviembre debido a que a partir de la siembra el día 7 de Octubre se inició el riego día intermedio, también se evidencia una reducción en los meses de diciembre, enero y febrero esta se atribuye al aumento de la temperatura en el tiempo climático en la ciudad de Bogotá lo que generó mayor evaporación y en donde se puede indicar que hubo más consumo de agua por las plantas debido a su desarrollo natural.

A.10.3. Granulometría y textura

La textura es uno de los parámetros físicos más importantes ya que desempeña un papel en la respiración radicular y microbiana, siendo esta indispensable para la determinación de la fragilidad del suelo. Se llevó a cabo la determinación por el método de Bouyoucos descrito en el anexo A, determinando el porcentaje de arenas, limo y arcilla por medio del cambio de la densidad. [66]

En las tres muestras analizadas en laboratorio del municipio de Jerusalén se determinó que las texturas predominantes son [67]:

Suelo Limoso (L) para los puntos de muestreo M1 y M3: Es un tipo de suelo pesado, con una relación promedio de 10% arena, 85% limo y 5% arcilla, posee una estructura laminar predominante en suelos vírgenes.

Franco limoso (FL) para el punto de muestreo M2: Es un tipo de suelo medio, con una relación promedio de 20% arena, 65% limo y 15% arcilla, posee una estructura laminar predominante en suelos vírgenes.

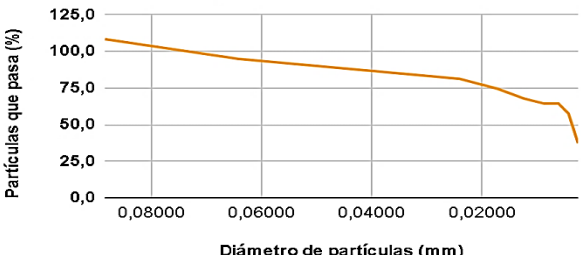
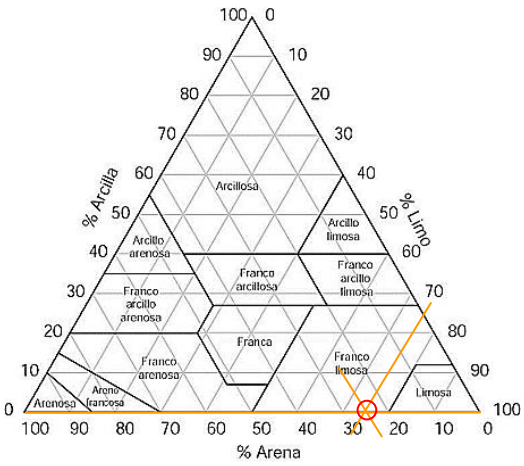
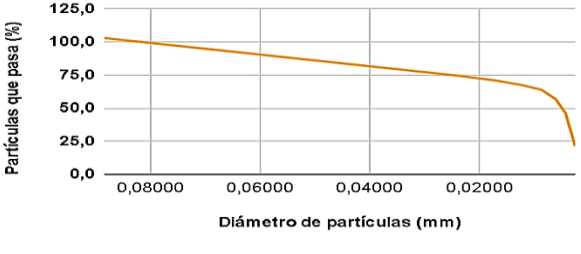
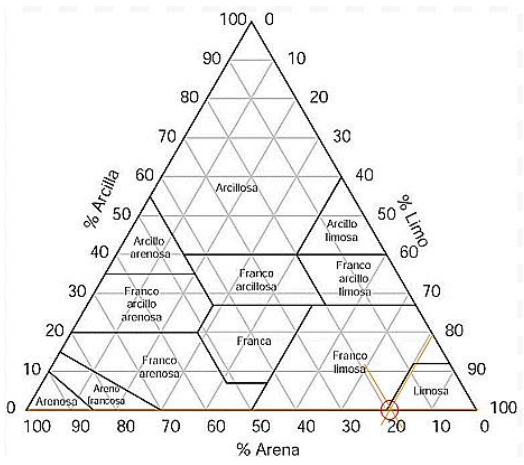
Para los suelos anteriormente mencionados se tiene que una DA ideal para el crecimiento radicular sea $<1.30 \text{ g/cc}$, puede afectar el crecimiento una DA de 1.55 g/cc y una DA que puede restringir el crecimiento radicular de $>1.75 \text{ g/cc}$. [68]

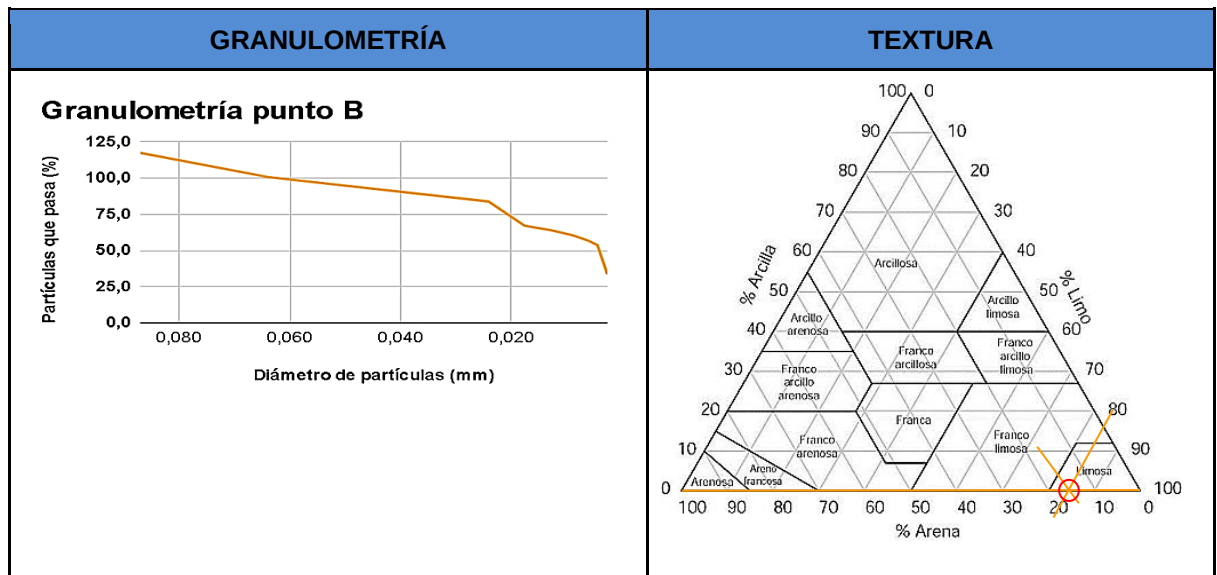
Ya que cada uno de los suelos posee una textura limosa se puede notar que para las muestras recolectadas en campo no se evidencia algún tipo de cambio en la textura gracias al clima cálido seco, sin embargo, mediante el riego en el cultivo se generó un movimiento ascendente del carbonato y modificando así el esfuerzo radicular por lo que se realizó un tipo de labranza.

En la tabla 23 se evidencia el porcentaje de partículas que tienen decantación y el diámetro de partículas en milímetros, evidenciando la caída de los sólidos respecto al tiempo de la toma de muestra definida en la norma I.N.V.E -124-07 y la determinación de la textura por medio del triángulo de textura aplicado por el USDA.

Tabla 23 Granulometría y textura con relación al crecimiento radicular

GRANULOMETRÍA		TEXTURA
% Partículas	Diámetro (mm)	Franco Limosa, con una DA promedio de 1.42 g/cc lo que indica que es ideal para el crecimiento radicular.
108.415	0.088	
94.863	0.064	
81.311	0.024	
74.535	0.017	
67.759	0.012	
64.371	0.009	
64.371	0.006	
57.595	0.004	
37.268	0.003	

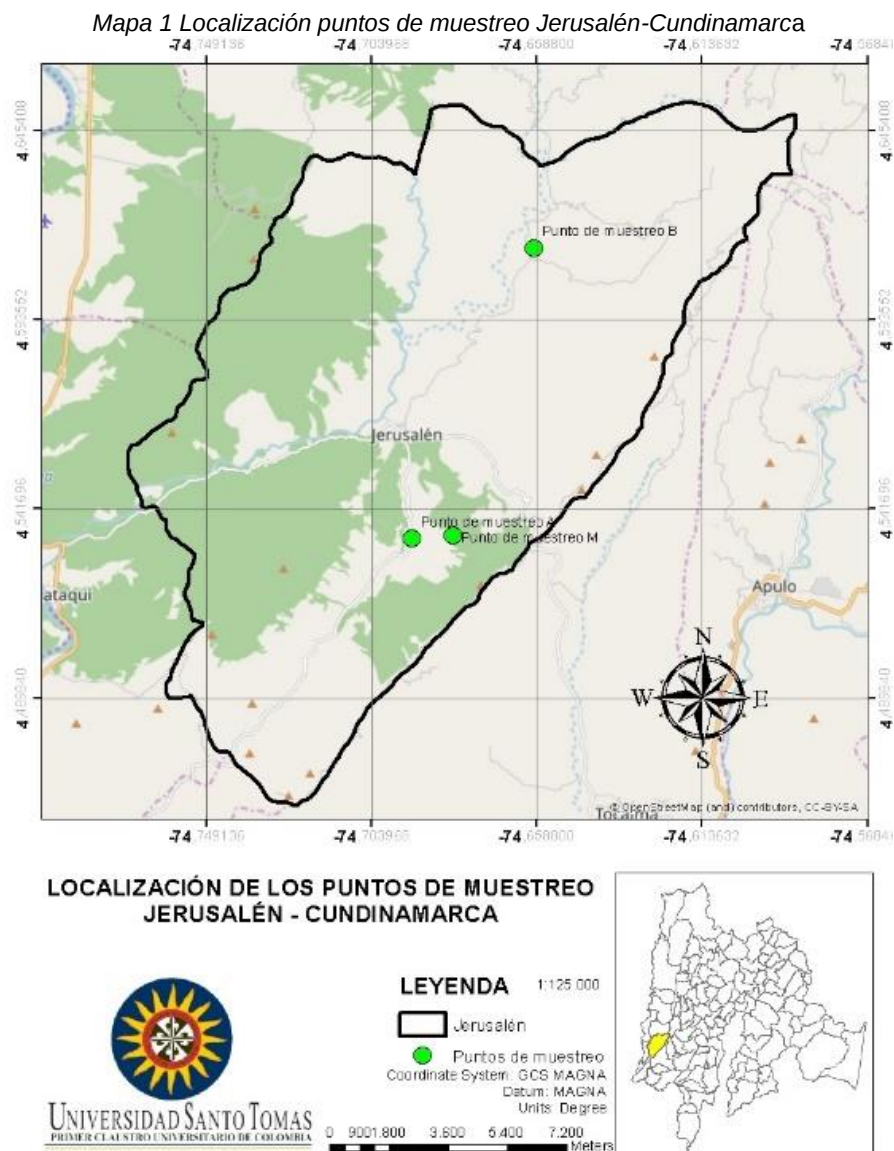
GRANULOMETRÍA	TEXTURA																				
Granulometría punto A 																					
<table border="1"> <thead> <tr> <th>%Partículas</th><th>Diámetro (mm)</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>103.016</td><td>0.089</td></tr> <tr><td>92.359</td><td>0.065</td></tr> <tr><td>74.598</td><td>0.024</td></tr> <tr><td>71.045</td><td>0.017</td></tr> <tr><td>67.493</td><td>0.012</td></tr> <tr><td>63.941</td><td>0.009</td></tr> <tr><td>56.836</td><td>0.006</td></tr> <tr><td>46.179</td><td>0.004</td></tr> <tr><td>21.314</td><td>0.003</td></tr> </tbody> </table> Granulometría punto M 	%Partículas	Diámetro (mm)	103.016	0.089	92.359	0.065	74.598	0.024	71.045	0.017	67.493	0.012	63.941	0.009	56.836	0.006	46.179	0.004	21.314	0.003	Franco Limosa, con una DA promedio de 0.89 g/cc lo que indica que es ideal para el crecimiento radicular. 
%Partículas	Diámetro (mm)																				
103.016	0.089																				
92.359	0.065																				
74.598	0.024																				
71.045	0.017																				
67.493	0.012																				
63.941	0.009																				
56.836	0.006																				
46.179	0.004																				
21.314	0.003																				
<table border="1"> <thead> <tr> <th>%Partículas</th><th>Diámetro (mm)</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>117.502</td><td>0.087</td></tr> <tr><td>100.716</td><td>0.064</td></tr> <tr><td>83.930</td><td>0.024</td></tr> <tr><td>67.144</td><td>0.018</td></tr> <tr><td>63.787</td><td>0.013</td></tr> <tr><td>60.430</td><td>0.009</td></tr> <tr><td>57.072</td><td>0.006</td></tr> <tr><td>53.715</td><td>0.004</td></tr> <tr><td>33.572</td><td>0.003</td></tr> </tbody> </table>	%Partículas	Diámetro (mm)	117.502	0.087	100.716	0.064	83.930	0.024	67.144	0.018	63.787	0.013	60.430	0.009	57.072	0.006	53.715	0.004	33.572	0.003	Limosa, con una DA promedio de 0.9 g/cc lo que indica que es ideal para el crecimiento radicular.
%Partículas	Diámetro (mm)																				
117.502	0.087																				
100.716	0.064																				
83.930	0.024																				
67.144	0.018																				
63.787	0.013																				
60.430	0.009																				
57.072	0.006																				
53.715	0.004																				
33.572	0.003																				



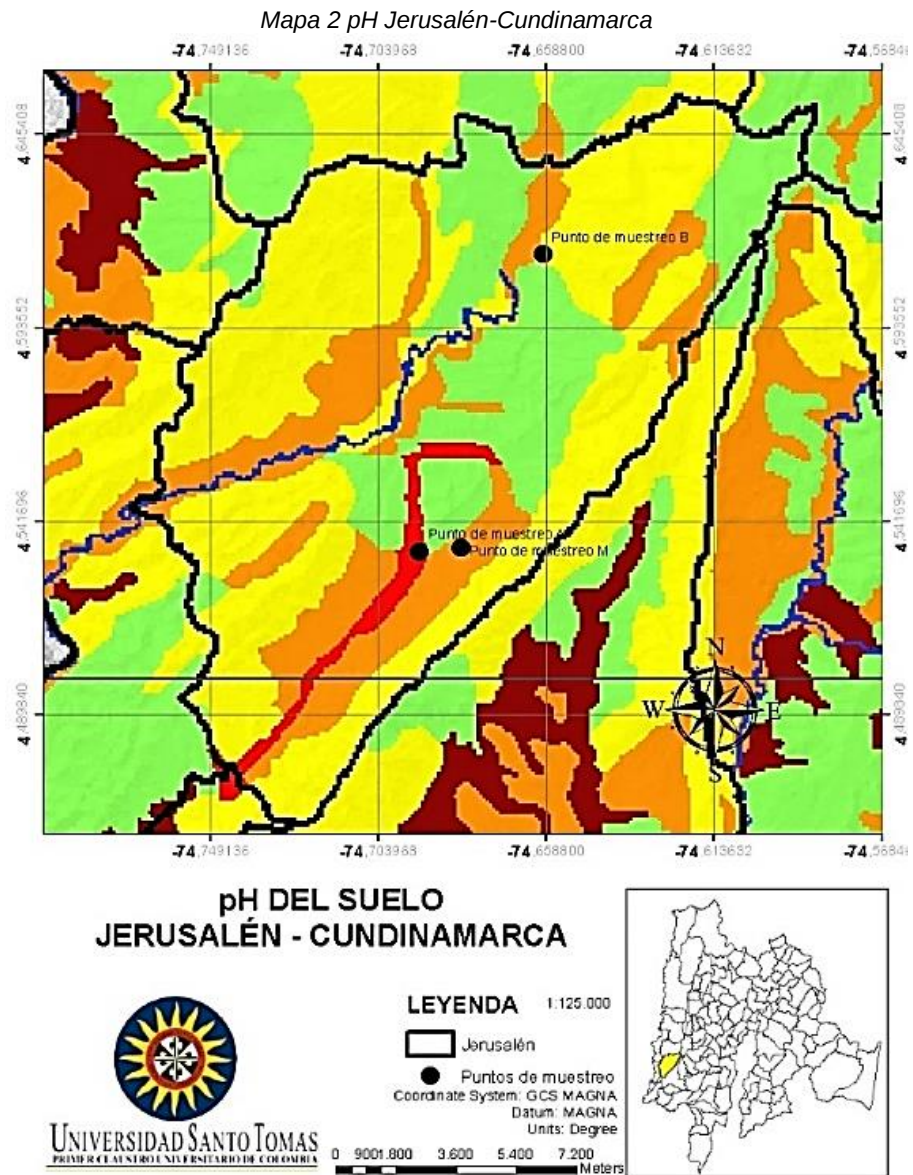
Fuente: Autores [70][71]

Anexo B: Mapas de referencia

A continuación, se presentan los mapas 1, 2 y 3 de localización, pH y saturación de bases correspondientemente: [73]

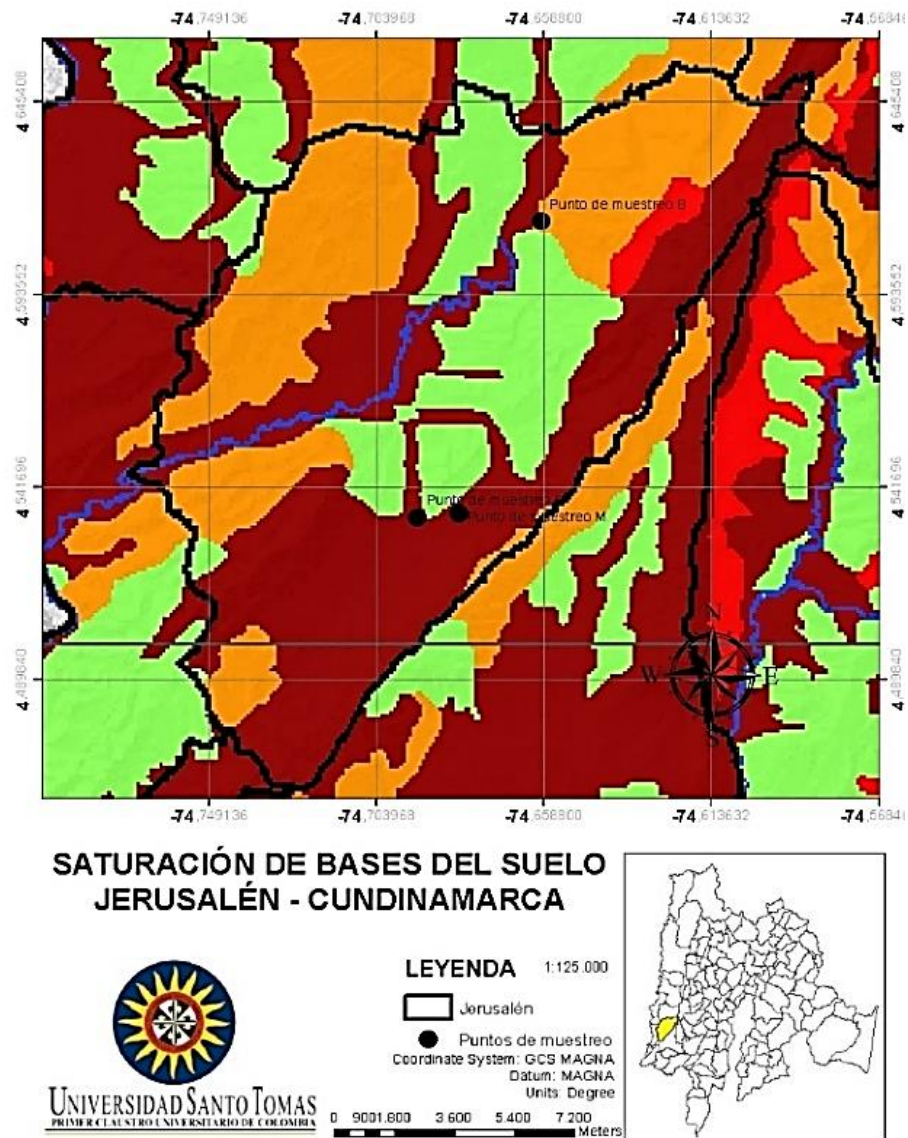


Fuente: Autores



Fuente: Modificación por autores del mapa de pH del estudio susceptibilidad de salinización de suelos en Colombia (IDEAM-MADS-UDCA)

Mapa 3 Saturación de bases suelos Jerusalén-Cundinamarca



Fuente: Modificación por autores de mapa de saturación de bases del estudio susceptibilidad de salinización de suelos en Colombia (IDEAM-MADS-UDCA)

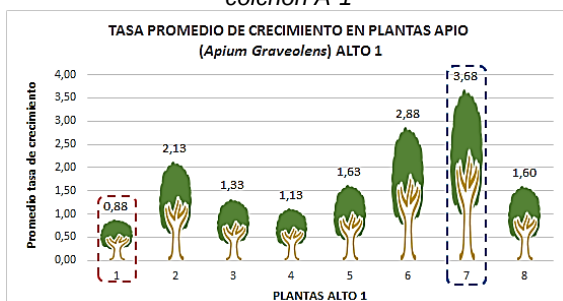
Anexo C: Estadística y comportamiento de plantas

C.1. Gráficas de la tasa promedio de crecimiento (TPC) por planta

Como se puede evidenciar en las gráficas 27,28,29,30,31 y 32 para tasa promedio de crecimiento, se destaca que las plantas presentaron un mayor crecimiento por mes en el colchón M1 es decir en el tratamiento medio 1, mientras que en el colchón A1 se presentan los valores de TPC más bajos de 0.88 *cm*. También se evidencia que el valor más alto y el más bajo se presentan en colchón A2 son de 0.25 y 6.6 *cm* de TPC.

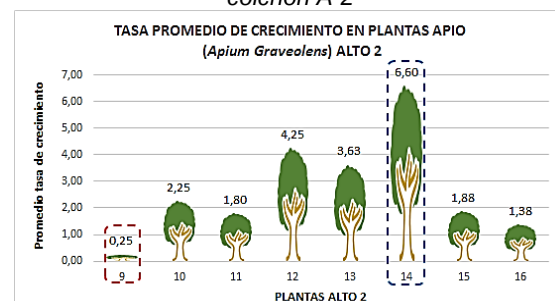
Estos resultados se atribuyen a la cantidad de sales disueltas de carbonatos de calcio que se encuentran en el suelo siendo estos colchones los que presentaron el porcentaje más alto para el mes de octubre, también se debe a que en el primer mes de desarrollo de la especie estos colchones no tenían una buena disponibilidad de luz solar, razón por la cual en el mes de diciembre se realizó una reubicación a fin de que la obtuvieran, sin embargo, el resultado de su crecimiento no evidenció gran cambio; adicional a esto la plaga denominada pulgón interfirió en el crecimiento de las plantas debido al comportamiento a través del tiempo en el cultivo.

Gráfica 27 Tasa promedio de crecimiento en plantas colchón A-1



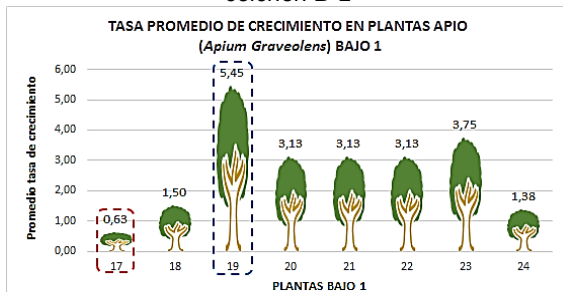
Fuente: Autores

Gráfica 28 Tasa promedio de crecimiento en plantas colchón A-2



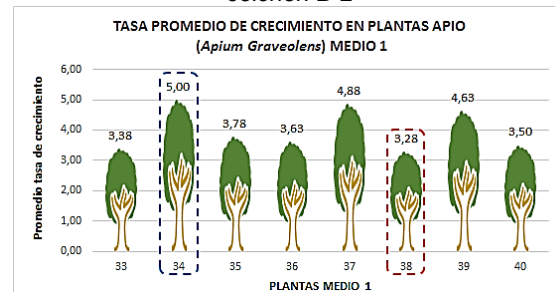
Fuente: Autores

Gráfica 29 Tasa promedio de crecimiento en plantas colchón B-1



Fuente: Autores

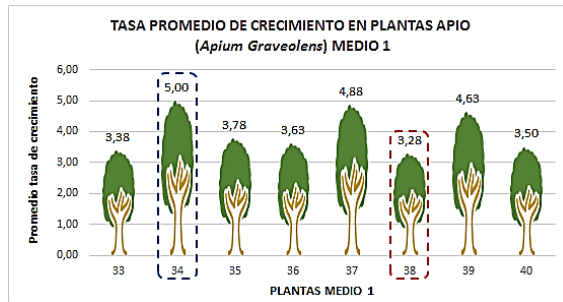
Gráfica 30 Tasa promedio de crecimiento en plantas colchón B-2



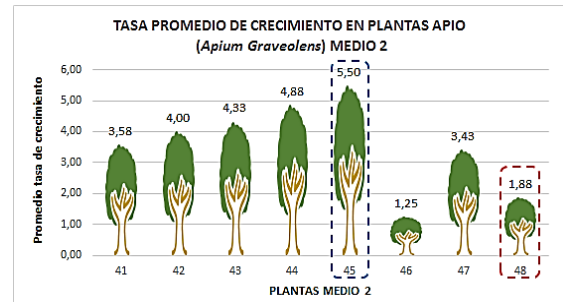
Fuente: Autores

Gráfica 31 Tasa promedio de crecimiento en plantas colchón M-1

Gráfica 32 Tasa promedio de crecimiento en plantas colchón M-2



Fuente: Autores



Fuente: Autores

C.2. Gráficas y análisis comportamiento por planta

En las tablas 24, 25, 26, 27, 28 y 29 se puede observar la descripción de los análisis respecto al crecimiento general de la planta y sus características respecto al cambio en el lapso.

▪ Descripción del nivel alto

Tabla 24 Descripción plantas Colchón A-1

N	Análisis Colchón 1
1	Se evidenció que la planta obtuvo muy poco desarrollo en los cuatro meses del tratamiento con un crecimiento de 3.5 cm, teniendo una pérdida notoria de sus tallos, en cuanto al enraizamiento se muestra raíces muy delgadas y cortas con una longitud de 4 cm, para el mes de diciembre se evidencia que la planta está afectada por pulgón.
2	Se mostró que la planta tuvo crecimiento de nuevos tallos, crecimiento en el experimento de 8.5 cm a partir de la siembra, con algunas decoloraciones de tallos y su enraizamiento se ven raíces delgadas y largas de aproximadamente 10.5 cm
3	Se evidenció poco crecimiento en el desarrollo de la planta en tallos y altura de esta con 5.3 cm de elevación desde el trasplante en el transcurso de 4 meses y poco crecimiento en raíz de 4 cm y raíces delgadas. En el mes de diciembre se muestra que la planta está afectada por pulgón.
4	Se evidenció muerte de la planta en los primeros 10 días y se realizó cambio de esta, su crecimiento en elevación fue de 4.5 cm y con un abundante número de tallos con crecimiento de nuevos a través del tiempo, poco crecimiento en raíz de 7 cm y raíces delgadas, para los meses de diciembre y enero la planta se vio afectada por pulgón.
5	Se evidenció un crecimiento de 6.5 cm de elevación con un estancamiento en los dos primeros meses y crecimiento de nuevos tallos, se evidenció raíces de 7.5 cm con pocas bifurcaciones en las raíces, para los meses de enero y febrero se muestran cambios de coloración característicos por la afectación por pulgón.

N	Análisis Colchón 1
6	Se evidenció muerte de la planta en los primeros 10 días y se realizó cambio de esta, su crecimiento en elevación fue de 11.5 <i>cm</i> y con un promedio de 12 tallos fuertes través del tiempo, poco crecimiento en raíz de 7 <i>cm</i> y raíces delgadas, para los meses de diciembre y enero la planta se vio afectada por pulgón.
7	Se evidenció muerte de la planta en los primeros 10 días y se realizó cambio de esta, su crecimiento en elevación fue de 9.7 <i>cm</i> y con un abundante número de tallos con un promedio de 20 evidenciándose crecimiento de nuevos a través del tiempo, crecimiento en raíz de 10.7 <i>cm</i> y raíces abundantes y delgadas, para los meses de diciembre, enero y febrero la planta se vio afectada por pulgón.
8	Se evidenció un crecimiento de 5.4 <i>cm</i> a través del tiempo, y crecimiento de tallos nuevos con una tendencia creciente, para el mes de enero se muestra afectación por pulgón, se observó raíz de 8 <i>cm</i> , delgadas y algunas pocas bifurcaciones.

Fuente: Autores

Tabla 25 Descripción plantas Colchón A-2

N	Análisis Colchón 2
9	Se evidenció estancamiento en el crecimiento de la planta con una elevación de 1 <i>cm</i> en el mes de diciembre y un decrecimiento de 1.3 <i>cm</i> en el mes de enero, con un promedio de 4 tallos a través del tiempo, se evidenció una raíz de 3 <i>cm</i> , para los meses de diciembre, enero y febrero la planta se ve afectada con mordeduras en tallos por pulgón.
10	Se evidenció crecimiento de 9 <i>cm</i> de elevación, con un promedio de tallos de 13 y crecimiento de estos, se evidenció raíz de 10 <i>cm</i> con harto enraizamiento, raíces delgadas y gruesas con bifurcaciones, para el mes de diciembre se evidencia que la planta estaba muy afectada por pulgón, para enero y febrero se muestra afectación, pero con características menores.
11	Se evidenció un crecimiento de 7.2 <i>cm</i> de elevación y crecimiento notorio de nuevos tallos fuertes, se evidenció raíz de 11 <i>cm</i> harto enraizamiento y raíces delgadas, para los meses de diciembre, enero y febrero se evidencia afectaciones leves por pulgón.
12	Se evidenció un crecimiento de 17 <i>cm</i> desde el trasplante, con un promedio de 6 tallas a través del tiempo, planta fuerte, se evidenció buen crecimiento de la raíz de 17 <i>cm</i> largo, raíces gruesas y con muchas bifurcaciones, para los meses de diciembre, enero y febrero se evidenció afectación leve por pulgón.
13	Se evidenció un crecimiento en elevación 14.5 <i>cm</i> desde la siembra, con un promedio de 5 tallos, planta fuerte a través del tiempo, se evidenció afectación por pulgón para el mes de diciembre y un crecimiento de 17 <i>cm</i> de raíz delgadas y con bifurcaciones.
14	Se evidenció muerte de la planta en los primeros 10 días y se realizó cambio de esta, su crecimiento en elevación fue de 26.4 <i>cm</i> desde el cambio y con un número de

N	Análisis Colchón 2
	tallos con un promedio de 11 evidenciándose crecimiento de nuevos a través del tiempo, crecimiento en raíz de 13 <i>cm</i> y raíces gruesas con bifurcaciones, para el mes de diciembre tuvo una afectación leve por pulgón.
15	Se evidenció un crecimiento de 7.5 <i>cm</i> de la planta de elevación, con un promedio de 10 tallos con crecimiento a través del tiempo, crecimiento en raíz de 13 <i>cm</i> y raíces delgadas con bifurcaciones para los meses de diciembre, enero y febrero se ve una persistencia leve de las afectaciones leves por pulgón.
16	Se evidenció un estancamiento en el crecimiento de la planta debido a que para el mes de noviembre se hace cambio de planta por muerte, sin embargo, tuvo un crecimiento de 5 <i>cm</i> de elevación y tuvo un crecimiento de tallos de 7, crecimiento en raíz de 10 <i>cm</i> y raíces delgadas, para los meses de diciembre y enero se evidenció afectación por pulgón.

Fuente: Autores

▪ **Descripción del nivel bajo**

Tabla 26 Descripción plantas Colchón B-1

Nº	Análisis Colchón 1
17	Se evidenció un crecimiento de elevación de 2.5 <i>cm</i> con un número de 5 tallos, se evidenció una raíz de 5.5 <i>cm</i> , con raíces delgadas, para los meses de diciembre, enero y febrero se evidenció afectación por pulgón en tallos y hojas.
18	Se evidenció un crecimiento de elevación de 6 <i>cm</i> a través del tiempo, con un crecimiento de 7 número de tallos, crecimiento en raíz de 6.5 <i>cm</i> y raíces delgadas, se evidencia que para el mes de diciembre hay afectaciones leves de pulgón, en enero no es notoria afectación y en febrero vuelve a notarse afectación.
19	Se evidenció un crecimiento de 21.8 <i>cm</i> de elevación, tallos fuertes en el desarrollo de la planta, un número promedio de 13 tallos, crecimiento de raíz de 9 <i>cm</i> y gruesas, para el mes de diciembre se evidenció afectación por pulgón y para los meses siguientes se vio más afectada la planta hasta notar que las hojas se tornaron arrugadas.
20	Se evidenció un crecimiento de 12.5 <i>cm</i> de elevación, tallos fuertes en el desarrollo de la planta, un número promedio de 19 tallos, crecimiento de raíz de 8 <i>cm</i> y delgadas, para el mes de diciembre se evidenció afectación por pulgón y para los meses siguientes se vio más afectada la planta hasta notar que las hojas manchas amarillas.
21	Se evidenció un estancamiento en el crecimiento de la planta debido a que para el mes de noviembre se hace cambio de planta por muerte, sin embargo, tuvo un crecimiento de 7.5 <i>cm</i> de elevación desde el cambio y tuvo un crecimiento de tallos de 2, crecimiento en raíz de 6 <i>cm</i> y raíces delgadas, para los meses de diciembre,

N°	Análisis Colchón 1
	febrero y enero se evidenció afectación por pulgón con algunas perforaciones en hojas.
22	Se evidenció un crecimiento de 12.5 <i>cm</i> de elevación, tallos fuertes en el desarrollo de la planta, un número promedio de 18 tallos fuertes y gruesos, crecimiento de raíz de 15 <i>cm</i> , gruesas con bifurcaciones de raíces delgadas, para el mes de diciembre se evidenció afectación por pulgón y para los meses siguientes se vio más afectada la planta hasta notar que las hojas manchas y hojas amarillas.
23	Se evidenció un crecimiento de 15 <i>cm</i> de elevación, tallos fuertes en el desarrollo de la planta, un número promedio de 7 tallos fuertes y gruesos, crecimiento de raíz de 11 <i>cm</i> , gruesas con bifurcaciones de raíces delgadas, para los meses de diciembre, enero y febrero se evidenciaron hojas arrugadas, con cambio de coloración, perforación en tallos y plantas afectadas por pulgón.
24	Se evidenció muerte de la planta en los primeros 10 días y se realizó cambio de la misma, su crecimiento en elevación fue de 11.5 <i>cm</i> desde el cambio hasta el mes de enero con una caída de 6 <i>cm</i> para el mes de febrero y con un número de tallos con un promedio de 31 evidenciándose crecimiento de nuevos a través del tiempo y fuertes, crecimiento en raíz de 10 <i>cm</i> y raíces delgadas con bifurcaciones, para los meses de diciembre, enero y febrero se tuvo una afectación por pulgón con hojas arrugadas.

Fuente: Autores

Tabla 27 Descripción plantas Colchón B-2

N	Análisis colchón 2
25	Se evidenció muerte de la planta en los primeros 10 días y se realizó cambio de esta, su crecimiento en elevación fue de 10 <i>cm</i> , con un número de tallos fuertes y delgados con un promedio de 28 evidenciándose una reducción a través del tiempo, crecimiento en raíz de 8 <i>cm</i> y raíces delgadas con bifurcaciones, para los meses de diciembre, enero y febrero se tuvo una afectación leve por pulgón con cambio de coloración en hojas.
26	Se evidenció muerte de la planta en los primeros 10 días y se realizó cambio de esta, su crecimiento en elevación fue de 6 <i>cm</i> , con un número de tallos fuertes y delgados con un promedio de 24 evidenciándose un incremento a través del tiempo, crecimiento en raíz de 8 <i>cm</i> y raíces delgadas con bifurcaciones, para los meses de diciembre, enero y febrero se tuvo una afectación leve por pulgón con cambio de coloración en hojas.
27	Se evidenció un crecimiento de 7 <i>cm</i> de elevación, tallos fuertes en el desarrollo de la planta, un número promedio de 7 tallos fuertes y delgados, crecimiento de raíz de 10.5 <i>cm</i> , raíces delgadas, para los meses de diciembre y febrero se evidenciaron hojas arrugadas, con cambio de coloración, perforación en tallos y plantas afectadas por pulgón, sin embargo, en enero esta no fue notoria.

N	Análisis colchón 2
28	Se evidenció un crecimiento de 9.5 <i>cm</i> de elevación, tallos fuertes en el desarrollo de la planta, un número promedio de 20 tallos fuertes y gruesos, crecimiento de raíz de 14 <i>cm</i> , gruesas con bifurcaciones de raíces delgadas, para los meses de enero y febrero se evidenciaron afectación leve por pulgón.
29	Se evidenció un crecimiento de 19 <i>cm</i> de elevación, tallos fuertes en el desarrollo de la planta, un número promedio de 7 tallos fuertes y gruesos, crecimiento de raíz de 16 <i>cm</i> , gruesas con bifurcaciones de raíces delgadas, para los meses de diciembre, enero y febrero se evidenciaron algunas hojas arrugadas plantas afectada levemente por pulgón.
30	Se evidenció muerte de la planta en los primeros 10 días y se realizó cambio de esta, su crecimiento en elevación fue de 12.5 <i>cm</i> desde el cambio, con un número de tallos fuertes y delgados con un promedio de 21 evidenciándose un incremento a través del tiempo, crecimiento en raíz de 11.5 <i>cm</i> y raíces delgadas con bifurcaciones, para los meses de enero y febrero se tuvo una afectación leve por pulgón.
31	Se evidenció un crecimiento de 16.7 <i>cm</i> de elevación, tallos fuertes en el desarrollo de la planta, un número promedio de 16 tallos fuertes con nuevos brotes a través del tiempo y delgados, crecimiento de raíz de 13 <i>cm</i> , gruesas con bifurcaciones de raíces delgadas, para el mes de diciembre se evidenciaron algunas hojas arrugadas planta afectada levemente por pulgón.
32	Se evidenció un crecimiento de 16.7 <i>cm</i> de elevación, tallos fuertes en el desarrollo de la planta, un número promedio de 10 tallos fuertes con nuevos brotes a través del tiempo y gruesos, crecimiento de raíz de 14 <i>cm</i> , gruesas con bifurcaciones de raíces delgadas, para los meses de diciembre, enero y febrero se evidenció planta afectada levemente por pulgón.

Fuente: Autores

▪ **Descripción del nivel medio**

Tabla 28 Descripción plantas Colchón M-1

N	Análisis Colchón 1
33	Se evidenció un estancamiento en el crecimiento de la planta debido a que para el mes de noviembre se hace cambio de planta por muerte, sin embargo, tuvo un crecimiento de 13.5 <i>cm</i> de elevación desde el cambio y tuvo un crecimiento de tallos en un promedio de 15, crecimiento en raíz de 11 <i>cm</i> y raíces delgadas, para los meses de febrero y enero se evidenció afectación por pulgón leve con algunas manchas amarillas en hojas.
34	Se evidenció un crecimiento de 20 <i>cm</i> de elevación, tallos fuertes en el desarrollo de la planta, un número promedio de 5 tallos fuertes con nuevos brotes a través del tiempo y gruesos, crecimiento de raíz de 17 <i>cm</i> , gruesas con bifurcaciones de raíces delgadas y no posee afectaciones por pulgón.

N	Análisis Colchón 1
35	Se evidenció un crecimiento de 15.1 <i>cm</i> de elevación, tallos fuertes en el desarrollo de la planta, un número promedio de 5 tallos fuertes con nuevos brotes a través del tiempo y delgados, crecimiento de raíz de 14 <i>cm</i> , gruesas con bifurcaciones de raíces delgadas, para el mes de enero se evidenció algunas hojas levemente afectadas por pulgón.
36	Se evidenció un crecimiento de 14.5 <i>cm</i> de elevación, tallos fuertes en el desarrollo de la planta, un número promedio de 23 tallos fuertes con nuevos brotes a través del tiempo y gruesos, crecimiento de raíz de 17 <i>cm</i> , gruesas con bifurcaciones de raíces delgadas y no posee afectaciones por pulgón.
37	Se evidenció muerte de la planta en los primeros 10 días y se realizó cambio de esta, su crecimiento en elevación fue de 19.5 <i>cm</i> desde el cambio, tallos fuertes en el desarrollo de la planta, un número promedio de 15 tallos fuertes con nuevos brotes a través del tiempo y gruesos, crecimiento de raíz de 11 <i>cm</i> , gruesas con bifurcaciones de raíces delgadas y la planta no se muestra afecta por pulgón.
38	Se evidenció crecimiento en elevación de 13.1 <i>cm</i> desde el cambio, con un número de tallos fuertes y delgados con un promedio de 5 evidenciándose un incremento a través del tiempo, crecimiento en raíz de 7.5 <i>cm</i> y raíces delgadas y la planta no se muestra afecta por pulgón.
39	Se evidenció crecimiento en elevación de 18.5 <i>cm</i> , con un número de tallos fuertes y delgados con un promedio de 4, evidenciándose un incremento a través del tiempo, crecimiento en raíz de 10 <i>cm</i> y raíces delgadas, para los meses de diciembre y enero se evidenció algunas hojas levemente afectadas por pulgón.
40	Se evidenció muerte de la planta en los primeros 10 días y se realizó cambio de esta, su crecimiento en elevación fue de 14 <i>cm</i> desde el cambio, tallos fuertes en el desarrollo de la planta, un número promedio de 15 tallos fuertes con nuevos brotes a través del tiempo y gruesos, crecimiento de raíz de 8.5 <i>cm</i> , gruesas con bifurcaciones de raíces delgadas y la planta no se muestra afecta por pulgón.

Fuente: Autores

Tabla 29 Descripción plantas Colchón M-2

N°	Análisis colchón 1
41	Se evidenció un crecimiento hasta el mes de enero fue de 14.3 <i>cm</i> y un decrecimiento para el mes de febrero de 6.5 <i>cm</i> , tallos fuertes en el desarrollo de la planta con un número promedio de 14 tallos fuertes con nuevos brotes a través del tiempo y gruesos, crecimiento de raíz de 16 <i>cm</i> , gruesas con bifurcaciones de raíces delgadas, para los meses de diciembre y enero se mostró afectaciones leves por pulgón como pequeñas manchas amarillas en las hojas.
42	Se evidenció un crecimiento de elevación de 16 <i>cm</i> , tallos fuertes en el desarrollo de la planta con un número promedio de 12 tallos fuertes con nuevos brotes a través del

N°	Análisis colchón 1
	tiempo y gruesos, crecimiento de raíz de 13 <i>cm</i> , gruesas con bifurcaciones de raíces delgadas, para los meses de diciembre y enero se mostró afectaciones leves por pulgón como pequeñas manchas amarillas en las hojas.
43	Se evidenció un crecimiento de elevación de 1.3 <i>cm</i> desde la siembra, tallos fuertes en el desarrollo de la planta con un número promedio de 8 tallos fuertes con nuevos brotes a través del tiempo y gruesos, crecimiento de raíz de 14 <i>cm</i> , gruesas con bifurcaciones de raíces delgadas, para los meses de diciembre y enero se mostró afectaciones leves por pulgón como debilidad en algunos tallos.
44	Se evidenció un crecimiento de elevación de 19.5 <i>cm</i> desde la siembra, tallos fuertes en el desarrollo de la planta con un número promedio de 7 tallos fuertes con nuevos brotes a través del tiempo y gruesos, crecimiento de raíz de 19 <i>cm</i> , gruesas con bifurcaciones de raíces delgadas, para el mes enero se mostró afectaciones leves por pulgón como manchas amarillas.
45	Se evidenció un crecimiento de elevación de 22 <i>cm</i> desde la siembra, tallos fuertes en el desarrollo de la planta con un número promedio de 9 tallos fuertes con nuevos brotes a través del tiempo y gruesos, crecimiento de raíz de 13 <i>cm</i> , gruesas con bifurcaciones de raíces delgadas, para los meses de diciembre y enero se mostró afectaciones leves por pulgón como lo son hojas arrugadas.
46	Se evidenció un crecimiento de elevación de 5 <i>cm</i> desde la siembra lo que mostró un poco desarrollo en la planta, tallos fuertes en el desarrollo de la planta con un número promedio de 7 tallos fuertes con nuevos brotes a través del tiempo y gruesos, crecimiento de raíz de 3 <i>cm</i> delgadas, para el mes y enero se mostró afectación leve por pulgón.
47	Se evidenció muerte de la planta en los primeros 10 días y se realizó cambio de la misma, su crecimiento en elevación fue de 11.7 <i>cm</i> desde el cambio, con un número de tallos fuertes y delgados con un promedio de 20 evidenciándose un incremento a través del tiempo para el mes de diciembre se muestra un cambio de coloración de 20 tallos de verde a amarillo, crecimiento en raíz de 8 <i>cm</i> y raíces delgadas con bifurcaciones, para los meses de enero y febrero se tuvo una afectación leve por pulgón como hojas arrugadas.
48	Se evidenció un crecimiento de elevación de 7.5 <i>cm</i> desde la siembra, tallos fuertes en el desarrollo de la planta con un número promedio de 5 tallos fuertes con nuevos brotes a través del tiempo y gruesos, crecimiento de raíz de 5 <i>cm</i> , gruesas con bifurcaciones de raíces delgadas, para el mes de diciembre se mostró afectaciones leves por pulgón como lo son hojas amarillas.

Fuente: Autores