

	<b>GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS</b>						  
	<b>CARTA DE AUTORIZACIÓN</b>						
<b>CÓDIGO</b>	<b>AP-BIB-FO-06</b>	<b>VERSIÓN</b>	<b>1</b>	<b>VIGENCIA</b>	<b>2014</b>	<b>PÁGINA</b>	<b>1 de 2</b>

Neiva, 11 de enero de 2017

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El (Los) suscrito(s):

Andrea Chávarro Restrepo, con C.C. No. 1075280570,

Leidy Ramírez Duque, con C.C. No. 1075255617

autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado titulado: CARACTERIZACIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS SEDIMENTOS DE LA LAGUNA VERDE DE LA TRIBUNA PARA SU APROVECHAMIENTO EN EL CULTIVO DE PIMENTÓN presentado y aprobado en el año 2017 como requisito para optar al título de INGENIERO AGRÍCOLA; autorizo (amos) al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales “open access” y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.

- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.

- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

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

	<b>GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS</b>					  	
	<b>CARTA DE AUTORIZACIÓN</b>						
<b>CÓDIGO</b>	<b>AP-BIB-FO-06</b>	<b>VERSIÓN</b>	<b>1</b>	<b>VIGENCIA</b>	<b>2014</b>	<b>PÁGINA</b>	<b>2 de 2</b>

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Andrea Chávarro Restrepo

Firma: Andrea Chávarro Restrepo

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Leidy Ramírez Duque

Firma: Leidy Ramírez Duque

	<b>GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS</b>						   
	<b>DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO</b>						
<b>CÓDIGO</b>	<b>AP-BIB-FO-07</b>	<b>VERSIÓN</b>	<b>1</b>	<b>VIGENCIA</b>	<b>2014</b>	<b>PÁGINA</b>	<b>1 de 3</b>

**TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO:** CARACTERIZACIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS SEDIMENTOS DE LA LAGUNA VERDE DE LA TRIBUNA PARA SU APROVECHAMIENTO EN EL CULTIVO DE PIMENTÓN

**AUTOR O AUTORES:**

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Chávarro Restrepo	Andrea
Ramírez Duque	Leidy

**DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:**

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Torrente Trujillo	Armando
Chávarro Díaz	Jorge Iván

**ASESOR (ES):**

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre

**PARA OPTAR AL TÍTULO DE:** Ingeniero Agrícola

**FACULTAD:** Ingeniería

**PROGRAMA O POSGRADO:** Agrícola

	<b>GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS</b>						   
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
<b>CÓDIGO</b>	<b>AP-BIB-FO-07</b>	<b>VERSIÓN</b>	<b>1</b>	<b>VIGENCIA</b>	<b>2014</b>	<b>PÁGINA</b>	<b>2 de 3</b>

**CIUDAD:** Neiva      **AÑO DE PRESENTACIÓN:** 2017      **NÚMERO DE PÁGINAS:** 48

**TIPO DE ILUSTRACIONES** (Marcar con una X):

Diagramas\_\_\_ Fotografías\_\_\_ Grabaciones en discos\_\_\_ Ilustraciones en general \_\_X\_ Grabados\_\_\_  
 Láminas\_\_\_ Litografías\_\_\_ Mapas\_\_\_ Música impresa\_\_\_ Planos\_\_\_ Retratos\_\_\_ Sin ilustraciones\_\_\_ Tablas  
 o Cuadros\_\_X\_

**SOFTWARE** requerido y/o especializado para la lectura del documento:

**MATERIAL ANEXO:**

ANEXO A: Temperaturas críticas para pimentón en sus fases de desarrollo.

ANEXO B: Ficha técnica estación meteorológica VANTAGE PRO2 6162, Davis Instruments.

ANEXO C: Cálculo dosis de aplicación fertilizante Triple Q.

ANEXO D: Consideraciones generales para interpretar análisis químicos de suelos.

ANEXO E: Resultados del laboratorio IGAC y su equivalente en PPM.

**PREMIO O DISTINCIÓN** (En caso de ser LAUREADAS o Meritoria):

**PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:**

<u>Español</u>	<u>Inglés</u>	<u>Español</u>	<u>Inglés</u>
1. Lodos	Sludge	6. Abono	Compost
2. Sedimentos	Sediment	7. Fertilizante	Fertilizer
3. Pimentón	Paprika	8. _____	_____
4. Capsicum	Capsicum	9. _____	_____
5. Laguna	Lagoon	10. _____	_____

	<b>GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS</b>						   
	<b>DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO</b>						
<b>CÓDIGO</b>	<b>AP-BIB-FO-07</b>	<b>VERSIÓN</b>	<b>1</b>	<b>VIGENCIA</b>	<b>2014</b>	<b>PÁGINA</b>	<b>3 de 3</b>

**RESUMEN DEL CONTENIDO:** (Máximo 250 palabras)

El objetivo principal del presente trabajo fue caracterizar los sedimentos de la Laguna Verde del centro de investigación y educación ambiental La Tribuna, utilizarlos como bioabono, comparándolos con un fertilizante comercial. En esta investigación se encontró que los sedimentos, poseen propiedades físico químicas que lo posicionan como un sustrato potencial para el mejoramiento del suelo, además, el costo es inferior al del fertilizante comercial, sin embargo, con el uso del fertilizante comercial se obtuvo el doble de número de plantas con frutos, en comparación a la aplicación del bioabono.

**ABSTRACT:** (Máximo 250 palabras)

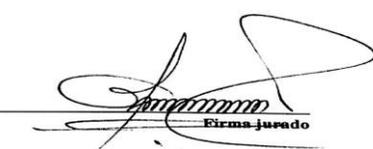
The main objective of this study was to characterize the Laguna Verde's sediments from the research and environmental education Center La Tribuna, use it as biofertilizer and compare it with a commercial fertilizer. In this investigation it was found that the sediments have physicochemical properties that position it as a potential substrate for soil improvement, besides, the cost is lower than that of commercial fertilizer, however, with the use of commercial fertilizer was obtained twice number of plants with fruit, compared to the application of biofertilizer.

**APROBACIÓN DE LA TESIS**

Nombre Jurado: Felipe Andrés Quimbaya Lasso

Firma:   
Firma jurado

Nombre Jurado: Jairo Cortés Ospina

Firma:   
Firma jurado

**CARACTERIZACIÓN DE LOS SEDIMENTOS DE LA LAGUNA VERDE DEL  
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y EDUCACIÓN AMBIENTAL LA TRIBUNA, PARA  
LA GENERACIÓN DE UN FERTILIZANTE Y EVALUACIÓN DE SU RELACIÓN  
COSTO BENEFICIO**



ANDREA CHAVARRO RESTREPO  
LEIDY RAMÍREZ DUQUE

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA AGRÍCOLA  
NEIVA - HUILA  
2016

**CARACTERIZACIÓN DE LOS SEDIMENTOS DE LA LAGUNA VERDE DEL  
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y EDUCACIÓN AMBIENTAL LA TRIBUNA, PARA  
LA GENERACIÓN DE UN FERTILIZANTE Y EVALUACIÓN DE SU RELACIÓN  
COSTO BENEFICIO**



**ANDREA CHAVARRO RESTREPO  
LEIDY RAMÍREZ DUQUE**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Adecuación de tierras.**

**Director de Tesis  
Ph.D ARMANDO TORRENTE TRUJILLO**

**Codirector  
Msc. JORGE IVÁN CHAVARRO DÍAZ**

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA AGRÍCOLA  
NEIVA - HUILA  
2016**

**Nota de aceptación:**

---

---

---

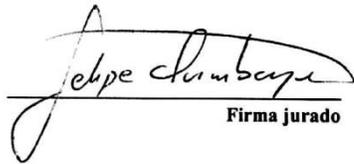
---

---

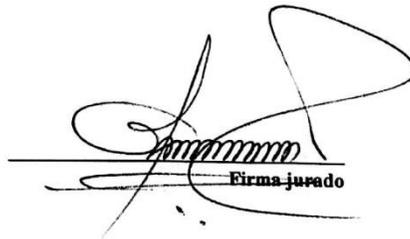
---



**Firma director del proyecto**



**Firma jurado**



**Firma jurado**

## DEDICATORIA

A Dios, por cada oportunidad en mi vida, por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi ejemplo y compañía. Gracias por la mejor mamá.

A toda mi familia, porque a pesar de la distancia siempre están ahí para escucharme, brindarme ayuda y acompañar cada momento de mi vida.

A mi mamá, por creer en mí, por ser testimonio vivo de perseverancia y servicio por los demás, por contagiarme y enseñarme su pasión y entrega por el trabajo.

A mi papá, por su excepcional manera de visionar el mundo, por compartir sus recursivas ideas, las cuales aportaron significativamente en la logística de este estudio, por comprender mis puntos de vistas y mantenerse a mi lado para tenderme la mano.

A mi hermanita, por la paciencia, el amor y las inolvidables frases de motivación, en la culminación de esta etapa.

A mi abuela Consuelo Quintero, por ser una persona de corazón impecable, bondadoso y ser un ejemplo de vida a seguir, por su inigualable amor, por inculcarme la Fe y la presencia de Dios en mi vida.

A mi novio Fabián Leguízamo Polanía, por el apoyo incondicional, las enseñanzas, por ser mi consejero incansable y acompañarme durante la ejecución del proyecto.

A mis amigos, de manera especial, los conocidos durante la universidad y por supuesto, al código 20091.

A Paz y R2, por su lealtad, nobleza y compañía.

Leidy Ramírez Duque

## DEDICATORIA

A Dios, por ser mi guía y permitirme vivir esta vida con salud al lado de seres maravillosos, siendo todo lo que necesito para ser feliz.

A la memoria de mi padre Guillermo, el ser que siempre me hará sentir la hija más orgullosa del mundo, quien en tan poco tiempo me dejó las mejores enseñanzas, el recuerdo imborrable del amor más puro hacia sus hijos, esposa y familia, a quien prometí obtener muchos logros como este y hasta ahora, voy cumpliendo.

A mi mamá, mi todo, mi ejemplo a seguir. Infinitas serían las palabras para agradecer dedicar su vida y ser capaz de darla por mí, por disfrutar conmigo todas las alegrías y sentir tan tuyas cada una de mis tristezas, por su lucha incansable, inculcarme valores, darme tanto amor e infinito apoyo. Te amo

A mi hermano, por su cariño particular, sus ráfagas de besos inesperados, por ser paciente y brindarme ayuda siempre.

A mi novio Fernando, por su amor, comprensión y apoyo incondicional, por ser parte fundamental en la realización de este trabajo y tener las palabras precisas para demostrarme siempre que si se puede.

A mi pequeña Avril, mi hija, mi vida, quien llegó al mismo tiempo de iniciar este trabajo de grado y por ser ahora mi mayor motivación, por hacerme explotar de amor, infinita felicidad y ganas de seguir adelante.

A toda mi familia, quienes lejos o cerca, me demuestran su amor y cuán importante soy para ellos, por estar siempre conmigo y darme los mejores consejos.

A mis amigas, Leidy, Patricia, Mercedes, Angie, Ivonne y Stephany, con quienes comparto los momentos más importantes y le inyectan un sinfín diversión a mis días.

Andrea Chávarro Restrepo

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores expresan sus agradecimientos:

A ARMANDO TORRENTE TRUJILLO., Ph.D., Profesor de la Universidad Surcolombiana de Neiva y director de este trabajo de grado, por su compromiso y dedicación.

Al Centro De Investigación CENIGAA, por darnos la oportunidad de hacer parte de esta gran familia y recibir su apoyo incondicional.

A Jorge Chávarro, Amalia Molina, Helmer Guzmán, Felipe Quimbaya y Jairo Cortés por su orientación durante el desarrollo este proyecto.

A RODRIGO PACHÓN BEJARANO., ING., Profesor de la Universidad Surcolombiana de Neiva.

A Fernando España, Juan José Chávarro, Andrés Blandón, Steven Perdomo, Felipe y Cristian Cárdenas, José Vargas, Lina Meneses, Fabián Franco por contribuir en la ejecución del proyecto.

Y a todas aquellas personas que de una y otra forma colaboraron en la realización del presente trabajo.

## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	11
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	12
2. JUSTIFICACIÓN .....	15
3. MARCO TEÓRICO.....	16
3.1. GENERALIDADES DEL PIMENTÓN.....	16
3.2. VARIEDADES DEL PIMENTÓN .....	17
3.3. VARIABLES CLIMÁTICAS .....	18
3.4. INVESTIGACIONES CON LODOS O BIOSOLIDOS EN LA AGRICULTURA .....	19
4. METODOLOGÍA.....	21
4.1. UBICACIÓN.....	21
4.2. MATERIALES Y MÉTODOS .....	22
4.3. DISEÑO EXPERIMENTAL.....	25
4.4. ESTADÍSTICA.....	26
5. RESULTADOS Y ANÁLISIS .....	27
5.1. VARIABLES CLIMATOLÓGICAS .....	27
5.2. VARIABLES CUANTITATIVAS.....	28
5.3. VARIABLES CUALITATIVAS.....	30
5.4. RESULTADOS ANÁLISIS DE SEDIMENTOS.....	32
5.5. SMART 3 COLORIMÉTRICO .....	34
5.6. RELACIÓN COSTO – BENEFICIO .....	36
6. CONCLUSIONES.....	37
7. RECOMENDACIONES .....	38
8. BIBLIOGRAFIA.....	39
ANEXOS .....	43

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
<b>Figura 1.</b> Consumo mundial de fertilizantes 2002-2009 (FIRA, 2010).....	12
<b>Figura 2.</b> Consumo de fertilizantes químicos en distintos países durante el periodo 1975-2007 con datos del Banco Mundial (INIFAP & CIRCE, 2012).....	13
<b>Figura 3.</b> Área experimental cultivo de pimentón.....	22
<b>Figura 4.</b> a) Smart 3 Colorimétrico y b) Laboratorio Electrónico de Suelos Portátil .....	23
<b>Figura 5.</b> Estación meteorológica.....	24
<b>Figura 6.</b> Pimentón con daños causados por golpe de sol .....	27
<b>Figura 7.</b> Comparación variables diámetro y altura en plantas de pimentón.....	29
<b>Figura 8.</b> Comparación número de hojas en plantas de pimentón .....	30
<b>Figura 9.</b> a) Botones florales y b) Flores de pimentón .....	31
<b>Figura 10.</b> Variables cualitativas 83 dds en pimentón .....	32
<b>Figura 11.</b> Frutos de pimentón a los 83 dds.....	32

## LISTA DE TABLAS

Pág.

<b>Tabla 1.</b> Descripción aplicación abono orgánico mineral y fertilizante.....	26
<b>Tabla 2.</b> Parámetros estadísticos de las variables morfológicas de las plantas de pimentón en los dos tratamientos.....	28
<b>Tabla 3.</b> Porcentaje de plantas con botones, flores y frutos. ....	31
<b>Tabla 4.</b> Resultados de Análisis Químico del lodo .....	33
<b>Tabla 5.</b> Comparativo de los análisis del lodo entre IGAC y Smart 3 .....	34
<b>Tabla 6.</b> Relación costo - beneficio para una hectárea de pimentón .....	37

## **LISTA DE ANEXOS**

Anexo A. Tabla temperaturas críticas para el pimentón

Anexo B. Ficha técnica estación meteorológica

Anexo C. Cálculo dosis de aplicación fertilizante

Anexo D. Consideraciones generales para interpretar análisis químico de suelos

Anexo E. Cálculos de conversiones Smart 3 colorimétrico

## INTRODUCCIÓN

Al establecer control en los sedimentos extraídos, provenientes de las obras de restauración y mantenimiento de los cuerpos de agua, sería posible disponer estos como abono orgánico en la agricultura, luego de realizarse previos análisis que certifiquen características químicas, físicas y biológicas que conlleven a su preciso aprovechamiento.

En territorios de la microcuenca El Neme en el norte del Huila, se localiza la finca de Ecopetrol conocida como “Centro de Investigación y Educación Ambiental La Tribuna”, cuyo origen se fundamentó en iniciativas compartidas entre representantes de la compañía Hocol y profesionales de la Universidad Surcolombiana, a finales de la década de 1990 (Olaya & Gutiérrez, 2014).

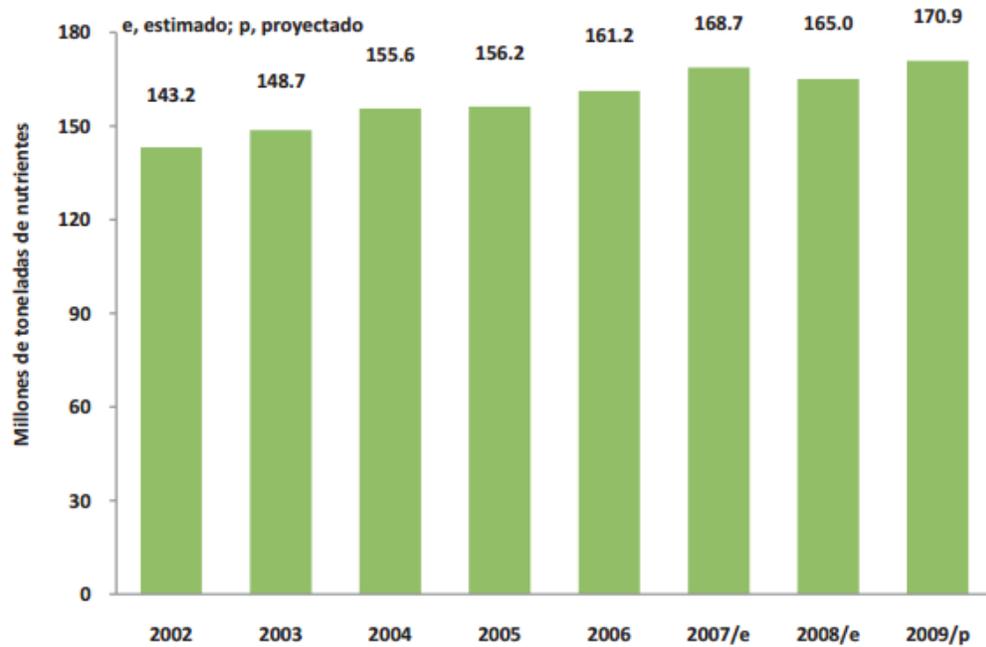
La Tribuna se encuentra ubicada en la vereda Tamarindo, en el sector del campo de San Francisco de la ciudad de Neiva, pertenece a la zona de vida denominada bosque seco Tropical (bs-T). Tiene un área de 128 hectáreas, las cuáles fueron dedicadas a la ganadería extensiva con sobrepastoreo y algunos cultivos de subsistencia (CENIGAA, 2015). En la actualidad es un centro dedicado a la conservación de flora y fauna, también se realizan procesos de investigación y educación ambiental, donde se encuentran sitios de interés para sus visitantes, tales como: la quebrada El Neme, algunas cascadas, el mirador Puertas del Sol, la cueva El Chímilo, la Laguna Verde, entre otras.

La Laguna Verde, es un ecosistema que produce gran cantidad de lodo rico en material vegetal con el cual se puede llegar a minimizar los efectos negativos provocados por los fertilizantes artificiales y contribuye a la disminución de costos para los agricultores. La aplicación y uso de abonos orgánicos en el suelo a partir de sedimentos acuáticos es de gran importancia ya que Colombia, hasta el momento, no luce como país de grandes yacimientos minerales, en los que pudiera resolverse con oportunidad y economía el difícil enunciado de la "escasez de elementos" tan fundamentales en la agricultura, como son el fósforo y el potasio (Valencia, s. f.).

Dicho esto, se buscan alternativas como el estudio de los lodos extraídos de cuerpos de agua para su implementación en la agricultura, mejorando la calidad del suelo sin necesidad de abordar productos químicos y aumentando así la producción de los cultivos.

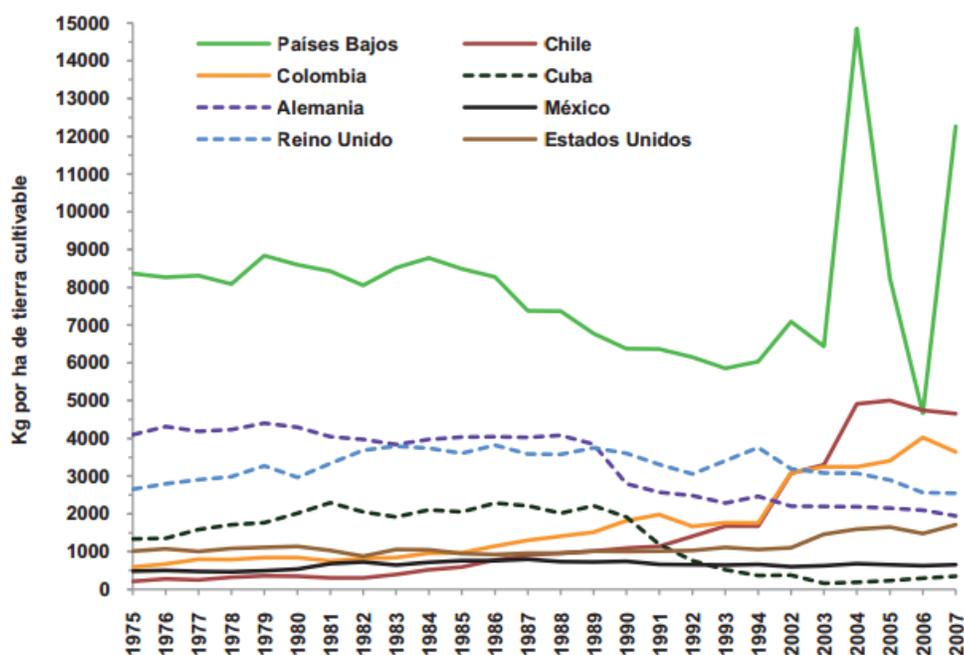
## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los fertilizantes son un factor incidente en la producción agrícola, se proyectó que para el año 2009 se consumirían 170.9 millones de toneladas de nutrientes como se observa en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, lo cual representa una cantidad bastante significativa (INIFAP & CIRCE, 2012).



**Figura 1.** Consumo mundial de fertilizantes 2002-2009 (FIRA, 2010).

Al revisar la información para Colombia, se obtiene que desde el año 2003 es el tercer país que más fertilizantes consume, como se observa en la Figura 2.



**Figura 2.** Consumo de fertilizantes químicos en distintos países durante el periodo 1975-2007 con datos del Banco Mundial (INIFAP & CIRCE, 2012).

El hecho de que el incremento de la productividad puede estar decayendo mientras que el uso de fertilizantes aumenta rápidamente, especialmente en países como China e India, sugiere tanto que los fertilizantes no son usados en forma eficiente o que es necesario investigar en forma urgente los problemas del fortalecimiento de la tecnología - nuevos cultivares, métodos de cultivo – requerida (IFA & FAO, 2000).

Los nutrientes para aplicar en el campo pueden ser suministrados por fertilizantes inorgánicos o una combinación de materiales. Muchos materiales orgánicos se producen alrededor de la casa, o pueden obtenerse con poco o ningún costo de las operaciones ganaderas, centros de recolección de residuos orgánicos y/o vertederos locales. Por lo tanto, algunos fertilizantes orgánicos son mejores para ciertas situaciones que otras, y debe suministrarse la cantidad correcta de nutrientes para las plantas. Es un error común pensar que los fertilizantes orgánicos son más seguros para el ambiente que los productos inorgánicos (químicos), pues las aplicaciones incorrectas de fertilizantes orgánicos pueden contaminar las aguas superficiales y subterráneas, inducir una deficiencia de nutrientes toxicidad o causar quemadura de sal. Adecuadamente utilizados, tanto

los fertilizantes orgánicos como los inorgánicos son seguros para las plantas y el medio ambiente (Johnson & Koenig, 2011).

Al detectar la problemática anteriormente mencionada, surge la iniciativa de visualizar con este proyecto la obtención de un abono alternativo y económico teniendo en cuenta que, los mayores costos de fertilización química reducen las utilidades del productor, que de por sí ya se ven afectadas por la degradación de la fertilidad natural de los suelos por el excesivo uso de estos insumos, también los altos costos de los fertilizantes sintéticos provoca que, por ejemplo para el caso del cultivo de maíz, la aplicación de biofertilizantes que ayudan a reducir las dosis de fertilización química en maíz y aumentan la productividad de diversos cultivos en al menos un 30% (Aguado-Santacruz, 2011).

Su alto precio, la ineficacia y la baja rentabilidad de las medidas adoptadas por el Gobierno, generan que muchos productores agrícolas sigan buscando cambiar la actividad que los ha mantenido desde años atrás, aprendida de generación en generación. Gran parte de la producción agrícola en Colombia requiere de insumos que no se elaboran en nuestro país. Su trascendencia es tal que se hace obligatoria su importación desde diferentes países, obligando a pagar los precios que sean necesarios y que impongan los mercados internacionales, sin que importe que para la gran mayoría de quienes conforman el sector rural en Colombia los costos son muy elevados, es de gran importancia evaluar un lodo acuático con gran cantidad de fósforo y elementos menores, para analizar la viabilidad de su uso como fuente de abono orgánico y mineral en la fase vegetativa del cultivo de pimentón.

La propuesta del presente trabajo de grado, tiene como objetivo desarrollar pruebas caracterizando los lodos del Centro de Investigación y Educación Ambiental (CIEA) La Tribuna con fines de su aprovechamiento, mediante la aplicación en la producción del pimentón y evaluando sus bondades en pro de mejorar la calidad del suelo para concluir si ¿Los lodos de la laguna verde tienen los nutrientes (elementos mayores y menores) necesarios para el desarrollo fenológico del cultivo de pimentón? Al finalizar dicha investigación.

## 2. JUSTIFICACIÓN

La Laguna Verde, recibe este nombre por la coloración que aporta la vegetación, especialmente las macrofitas, en esta, habitan diferentes tipos de aves, patos, caimanes, la tortuga morrocoy, culebras, entre otros. Su principal afluente es el nacedero La Moyita, con un caudal permanente la abastece a lo largo del año (Atarrayas Films, 2014).

Durante el segundo semestre del 2015, Cenigaa realizó actividades de mantenimiento en la laguna verde, obteniendo lodos, a partir de la extracción de sedimentos, con el fin de recuperar el espejo de agua de la laguna, al tener la disponibilidad de estos lodos, surge la iniciativa de emplearlo como un abono alternativo en la agricultura.

El uso de material orgánico en la agricultura, más específicamente en investigaciones bajo invernadero se considera viable y una alternativa de manejo, los lodos y biosólidos que pueden ser utilizados en la agricultura como abono, es decir, como un producto capaz de proporcionar a los cultivos elementos nutritivos necesarios para su crecimiento y su desarrollo. También, algunos biosólidos, transformados en compost o tratados con cal, pueden jugar un papel importante como fertilizantes, lo que significa mantener o mejorar la estructura de los suelos, su actividad biológica, o también controlar su acidez (Lozada et al., 2005).

Esta práctica, además de darle uso a estos residuos naturales, disminuye el impacto ambiental y reduce el uso de químicos y contaminantes para su aplicación en el agro, a su vez, consolida una agricultura sostenible minimizando pérdidas de suelo y manteniendo la productividad mediante el uso de insumos orgánicos que estén equilibrados con la producción de alimentos.

Dichos fertilizantes suministran los nutrientes esenciales para las plantas, principalmente nitrógeno (N), potasio (K) y fósforo (P). Estos fertilizantes aumentan el rendimiento del cultivo, pero causan varios riesgos para la salud. Hoy en día las preferencias de los consumidores se orientan hacia el uso de los alimentos orgánicos cultivados sin el uso de ningún producto químico. En los últimos años, los biofertilizantes han surgido como un componente importante para la fijación biológica del nitrógeno, además ofrecen una ruta económicamente atractiva y ecológicamente sana para proporcionar nutrientes a la planta. Los biofertilizantes ganaron importancia debido a su bajo costo entre los agricultores pequeños y marginales (Bhattacharjee & Dey, 2014).

### 3. MARCO TEÓRICO

#### 3.1. GENERALIDADES DEL PIMENTÓN

El pimentón ha constituido un elemento básico en la alimentación de los aborígenes americanos. Esta especie vegetal hace parte de la familia Solanaceae y su nombre científico es *Capsicum annuum* L. Algunos autores solo reconocen una especie (*C. annuum*), que engloba toda la variabilidad genética que existe para este fruto. Otros distinguen más de una especie: *Capsicum annuum* L. y *Capsicum frutescens* L. que se diferencian fundamentalmente en el número y color de las flores por inflorescencia, forma y tipo de frutos y duración del ciclo vegetativo (Bojacá et al., 2012).

El pimentón es una planta herbácea perenne con ciclo de cultivo anual, variable entre los 0,5 metros (en determinadas variedades de cultivo al aire libre) y más de 2 metros (gran parte de los híbridos cultivados en invernadero). El sistema de raíces pivotante llega a profundidades de 0,7 a 1,2 m, y lateralmente hasta 1,2 m, pero la mayoría de las raíces están a una profundidad de 5 a 40 cm (Guenko, 1983). Está provisto y reforzado con un número elevado de raíces adventicias que pueden medir entre 50 cm y 1 m. El tallo es de crecimiento limitado y erecto con un diámetro que puede variar entre 0,5 y 1,5 cm. Cuando la planta adquiere una cierta edad, los tallos se lignifican ligeramente.

La altura promedio de la planta es de 60 cm, pero varía según el tipo y/o especie de que se trate. Las hojas son planas, simples, lampiñas, enteras, ovales o lanceoladas con un ápice muy pronunciado (acuminado) y un peciolo largo o poco aparente y de forma ovoide alargada. Para que se produzca la floración, además de unas condiciones climáticas adecuadas, se requiere una cierta “madurez” de la planta, que en la especie se materializa con la presencia mínima de 8 a 12 hojas (Bojacá et al., 2012).

Las flores en la mayoría de casos son blancas pero pueden tornarse de color púrpura, se desarrollan de forma única en cada nudo y no tienen dificultad a producir fruto, el cual es de color rojo o amarillo cuando está maduro, que se puede insertar pendularmente, de forma y tamaño muy variables, pues existen variedades que dan frutos de 1 o 2 gramos, frente a otras que pueden formar bayas entre los 300 gramos y 500 gramos, sus semillas son redondeadas,

ligeramente reniformes, de color amarillo pálido y longitud variable entre 3 y 5 cm (Valadez, 1994).

(Randle & Honma, 1981), indicaron que, en la rapidez y homogeneidad de la capacidad de germinación de las semillas del pimentón, además de determinados agentes físicos (temperatura y humedad, principalmente), también tienen influencia en otros aspectos, como la variedad, la edad del fruto del que se han tomado las semillas y las condiciones de conservación de las mismas durante el almacenamiento.

Dada la complejidad taxonómica existente para el pimentón, es difícil establecer una clasificación homogénea que agrupe las distintas variedades; por esto su identificación se basa en características morfológicas, fisiológicas y organolépticas como tamaño y forma de los frutos, evolución del color durante la maduración y el sabor picante, entre otras. Desde el punto de vista práctico, existen tres grupos varietales: a) variedades dulces, b) variedad dulce italiano y c) variedades con sabor picante (DANE, 2015).

### **3.2. VARIEDADES DEL PIMENTÓN**

a) Variedades dulces: Suelen tener frutos de tamaño grande; son los más aptos para cultivar en invernaderos y su cultivo está muy extendido para el consumo en fresco y la industria de conservas. Se comen crudos, enteros o troceados en ensalada o cocinados. En Colombia las variedades dulces más cultivadas son del tipo Lamuyo y California (DANE, 2015).

- Tipo Lamuyo, tres puntas o rectangulares: Son frutos largos de forma cónica que terminan en tres puntas, de color rojo, pulpa gruesa, piel lisa, sabor muy dulce y acidez baja, además son poco sensibles a la podredumbre apical y muy tolerante al frío. Se caracteriza por tener una longitud de 15 cm a 20 cm y un diámetro de 5,5 cm a 7 cm (Reche Mármol, 2010).

- Tipo California o cuadrado: Son frutos con 7 a 10 cm de longitud y 6 a 9 cm de ancho. Son de pulpa gruesa y se diferencian del tipo Lamuyo por tener cuatro hombros bien marcados, tienen paredes rectangulares o ligeramente redondeadas. Tienden a hacer muy cultivados gracias a su producción, calidad, conservación y gran resistencia a las rajaduras. Este

tipo es el que predomina en el mercado internacional por su presentación y firmeza; el pimentón California Wonder es el más comercializado en Colombia y se encuentra en colores intensos como el verde, rojo o amarillo (CORPOICA y Gobernación de Antioquia, 2014).

- b) Variedad dulce italiano: Este pimentón corresponde a un subgrupo del tipo Lamuyo. Se diferencia por presentar frutos delgados, puntiagudos, alargados, con longitud de 18 a 35 cm y con diámetro en la parte más gruesa de 20 cm, siendo esta la que más se cultiva bajo invernadero (Reche Mármol, 2010).
- c) Variedades con sabor picante: Muy cultivadas en Suramérica, suelen ser variedades de fruto largo y delgado, algunos pueden llegar incluso a quemar cuando se prueba (DANE, 2015).

### 3.3. VARIABLES CLIMÁTICAS

**Temperatura.** El pimentón es un cultivo que se desarrolla bien a temperaturas altas (25°C); sin embargo, temperaturas extremas (>30°C) afectan de manera significativa el número de flores, la fecundación y el cuajado de frutos (Mundarain, Coa, & Cañizares, 2005). Las condiciones de crecimiento óptimas para el pimiento se verifican con temperaturas diurnas de 24 a 26°C y nocturnas de 16 a 18°C (Universidad nacional del centro de Argentina, s. f.). De obtenerse mínimas temperaturas durante el día para el cultivo de pimentón como 15°C y 18°C (anexo A) inducen a la formación de frutos de menor tamaño, que pueden presentar deformaciones y una producción de baja calidad, también produce la formación de flores con alguna anomalía, ya sea pétalos curvados y/o sin desarrollar.

**Viento.** Es indispensable evitar fuertes corrientes de viento en el sitio del cultivo, ya que estas facilitan el transporte interno de esporas que propagan enfermedades y daños en la epidermis de los frutos con la consecuente pérdida de la calidad (Bojacá et al., 2012), además pueden generar la caída de hojas y flores.

**Radiación.** La radiación solar es vital para la planta ya que proporciona la energía necesaria para formar asimilados, posibilitando por ende la producción. En un día despejado, la radiación puede ser de 900 a 1,100 W/m<sup>2</sup> (Marlow, 2012) lo cual es

más de lo que el cultivo de pimientos puede tolerar. Aseguran (Ugarte, Belmar, & Holwerda, 2007) es una planta muy exigente en luminosidad, sobre todo en los primeros estados de reproducción y durante la floración, sin embargo demasiada luz produce como resultado hojas rígidas y enrolladas que tratan de protegerse del sol; esto reduce la capacidad de refrescarse de la planta.

**Humedad Relativa.** Humedades relativas muy elevadas favorecen el desarrollo de enfermedades aéreas que dificultan la fecundación o disminuyen posteriormente la calidad de los frutos, ya que esta influye notablemente en la producción. La coincidencia de altas temperaturas y baja humedad relativa puede ocasionar la caída de flores y de frutos recién cuajados debido a un nivel de estrés muy alto. Existen diferentes estrategias para prevenir problemas con moho foliar dentro del invernadero, entre ellas un buen manejo de la humedad relativa, evitando humedades superiores al 80% (Bojacá et al., 2012).

La humedad relativa óptima oscila entre el 50% y el 70% (INFOAGRO, s. f.) y El exceso se puede reducir mediante ventilado, aumento de la temperatura y evitando el exceso de humedad en el suelo. La falta se puede corregir con riegos, llenando recipientes de agua y pulverizando agua en el ambiente (Pérez Rojas & Cortés, 2007).

### **3.4. INVESTIGACIONES CON LODOS O BIOSOLIDOS EN LA AGRICULTURA**

Las características de biosólidos provenientes de PTAR tipo UASB entregan al suelo una cantidad de nutrientes que garantiza el desarrollo de cultivos y disminuye el costo generado por la aplicación de fertilizantes convencionales, especialmente en plantaciones forestales y en la estabilización de taludes en áreas agrícolas de montaña (Oviedo, 2015).

(Robledo et al., 2010) en Chapingo – México caracterizaron los biosólidos y su importancia en el beneficio de los cultivos. Los biosólidos presentaron alto contenido en sales solubles y concentración de metales pesados dentro de los límites máximos permisibles según la NOM-004-SEMARNAT-2002, por lo que se les puede dar uso agrícola. Con la dosis más alta de biosólidos, el pH del suelo disminuyó de moderadamente alcalino a ligeramente ácido, lo cual es benéfico, ya que es el más adecuado para la disponibilidad de la mayoría de los nutrimentos para las plantas. La alta concentración de sales solubles en los biosólidos puede

representar un problema si se aplican en dosis excesivas o en cultivos sensibles a salinidad.

(Navarro, Moral, Gómez, & Mataix, 1995), en Alicante – España, estudiaron las mayores fuentes de residuos orgánicos y su aplicación en la agricultura. Aplicaron el lodo proveniente de la depuración de aguas residuales con buenos resultados, muestra de ello es el rendimiento del cultivo de Tomate sobre suelo calizo sin tratar y tratado con lodo empleando  $0.5 \text{ kg.m}^{-2}$ , en el cual la producción se incrementó tres veces con el tratamiento de lodo, obteniendo para el ensayo sin tratar una producción de 1.3 kg por planta, mientras que para el tratamiento con lodo se reflejó una producción de 3.5 kg por planta.

(Ayuso, Hernández, García, & Costa, 1992), en Murcia – España, emplearon el lodo aerobio como un sustitutivo de fertilizantes fosforados inorgánicos en pimentón *Capsicum annum L.* variedad negral, obteniendo que los lodos son un buen sustituto de la fertilización inorgánica de fósforo, porque con ellos se alcanzaron rendimientos superiores a los conseguidos con esta fertilización y una mayor absorción de fósforo por la planta, adicionalmente la adición de lodo puede mitigar en cierta medida los problemas de insolubilización del fósforo en suelos calizos, debido sobre todo a la progresiva mineralización del fósforo orgánico del lodo actuando éste como un fertilizante de acción gradual, así la incorporación de lodos al suelo aumenta la asimilación del fósforo y eleva la cantidad disponible de este nutriente en el suelo.

(Torres, Madera, & Silva, 2009), determinaron que uno de los principales problemas de calidad de los biosólidos de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas –PTAR– es el contenido de microorganismos patógenos que los clasifica en muchos casos como Clase B con restricción para uso agrícola. Se logró identificar que el biosólido higienizado con cal presenta alto potencial de uso agrícola por su calidad microbiológica y por el contenido final de materia orgánica y nutrientes (N, P) que pueden beneficiar los suelos.

(Ramírez Pisco & Pérez Arenas, 2006), evaluaron el potencial del subproducto del tratamiento de aguas residuales (biosólidos), para su aplicación en la producción del rábano rojo. Los resultados evidenciaron que los tratamientos 50% y 25% biosólidos, son los que favorecen el crecimiento, desarrollo y producción del cultivo de rábano. También se evidenció que su sobreuso puede acarrear un gran riesgo, ya que a pesar de la gran cantidad de nutrientes (C, N, P, K, Ca, Na, Fe y Zn) y materia orgánica, la presencia de metales pesados, o su inadecuada

aplicación, puede ir en detrimento del crecimiento y producción de las plantas de rábano.

Los estudios mencionados anteriormente, muestran el interés de los investigadores en el uso de este material, convirtiéndolo en un insumo, lo que se consideraba como un residuo de otras actividades, tales como, remoción de sedimento de las plantas de tratamiento de aguas residuales, extracción de lodos en lagos, lagunas y otros cuerpos de agua.

Esta práctica, además, de darle uso a estos residuos naturales, disminuye el impacto ambiental y reduce el uso de químicos y contaminantes para su aplicación en el agro, a su vez consolida una agricultura sostenible minimizando pérdidas de suelo y manteniendo la productividad mediante el uso de insumos orgánicos que estén equilibrados con la producción de alimentos.

## **4. METODOLOGÍA**

### **4.1. UBICACIÓN**

La investigación se realizó en el área urbana de la ciudad de Neiva, adecuando la terraza de un edificio para establecer el semillero de pimentón y distribuir los tratamientos en macetas según un diseño experimental completamente al azar (DCA), bajo polisombra y la instalación de una estación meteorológica para el seguimiento a las condiciones ambientales (Figura 3).



**Figura 3.** Área experimental cultivo de pimentón

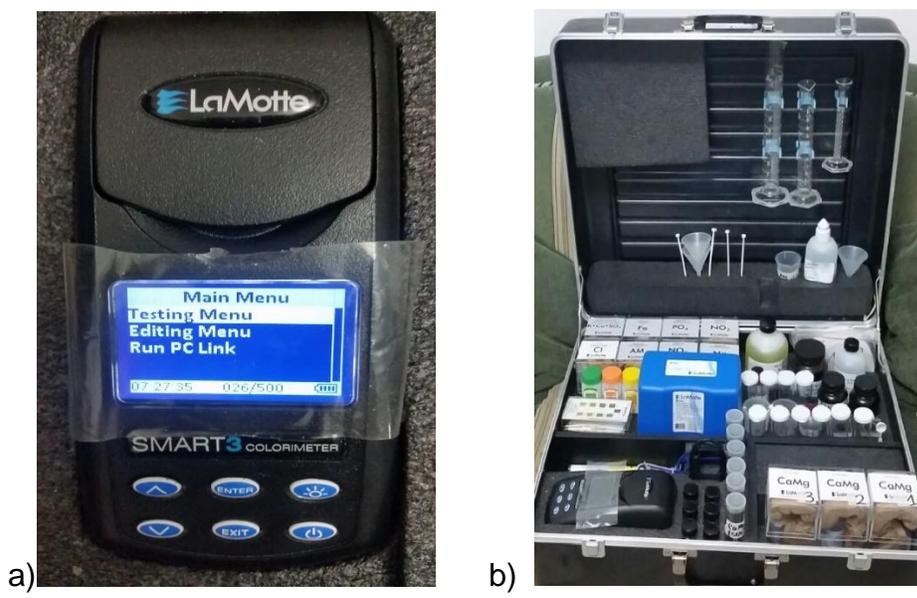
## **4.2. MATERIALES Y MÉTODOS**

Se realizó el muestreo representativo de los sedimentos de la Laguna Verde del Centro de Investigación y Educación Ambiental La Tribuna (CIEA La Tribuna), ubicada en la zona rural, correspondiente a la vereda Tamarindo del corregimiento San Francisco a 35 minutos del cabecera municipal de Neiva, utilizando las herramientas apropiadas (palas, baldes, carretilla, etc.) y se procedió a enviar una muestra al Laboratorio Nacional de Suelos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), donde se realizó un completo análisis de química y física del lodo. De manera simultánea, se hizo el análisis de los sedimentos con el equipo de alta tecnología israelí “Smart 3 Colorimétrico” para compararlos con los del IGAC.

Para la obtención de un abono orgánico mineral, sólido que según la norma técnica colombiana 5167 (ICONTEC, 2014) es un producto sólido obtenido por mezcla de abonos minerales y orgánicos de origen animal, vegetal, pedogenético (geológico) o provenientes de lodos de tratamiento de aguas residuales, que a su vez contienen porcentajes mínimos de materia orgánica, se realizó pretratamiento a la muestra previo a su análisis, mediante secado a temperatura ambiente, se disgregó y maceró con un rodillo para finalmente pasar por el tamiz número 10 y almacenarlo en bolsas ziploc.

**SMART 3 COLORIMÉTRICO.** Se realizaron los análisis de pH, Calcio, Potasio, Magnesio, Manganeso, Hierro, Cobre, N-NO<sub>3</sub> Nitrato y Fosforo. El Smart 3 es un equipo portátil de la marca LaMotte que permite hacer la caracterización de suelos directamente en campo diseñado para el análisis químico del suelo de forma inmediata y económica. El instrumento es controlado por un microprocesador, el cual emplea el método colorimétrico, de lectura directa, cuenta con una pantalla gráfica de cristal líquido y 6 botones de funcionamiento que permiten seleccionar más de 80 pruebas del software, leer resultados, generar secuencias de pruebas que a su vez se pueden modificar, revisar los resultados de pruebas anteriores almacenadas en su memoria. Los menús se pueden mostrar en siete idiomas diferentes (LaMotte, 2014).

El Colorimétrico (Figura 4a) analiza instantáneamente las reacciones de color desarrolladas en los test de nutrientes y se utiliza para determinar la concentración de un compuesto incógnito, midiendo la absorbancia que produce la muestra a un determinado color. Las lecturas tomadas se multiplican por el factor de conversión específico en cada test para proporcionar un resultado en partes por millón (ppm), kilos por hectárea (kg/ha) o libras por acre (lb/acre).



**Figura 4.** a) Smart 3 Colorimétrico y b) Laboratorio Electrónico de Suelos Portátil

Por otra parte, el laboratorio electrónico de suelos portátil (Figura 4b) cuenta con instrumentos necesarios para las marchas que ofrece el Smart 3 como probetas,

pipetas, reactivos específicos para cada prueba, embudos, tubos de ensayo, peachímetro, conductivímetro, termómetro, vaso de precipitado entre otros.

**ESTACIÓN METEOROLÓGICA.** Se contó con una estación meteorológica (Figura 5) marca Davis Instruments de referencia Vantage Pro 6162 Wireless proporcionada por el Centro de Investigación CENIGAA, con el fin de monitorear las variables climáticas en el área experimental.



**Figura 5.** Estación meteorológica

Una de las características más atractivas de la estación meteorológica (anexo B) es la telemetría que permite el posterior envío de la información hacia el operador del sistema después de su recopilación. Gracias a dicha función y el monitoreo en tiempo real en la agricultura, permiten optimizar los procesos y la calidad de la producción, así como responder de manera oportuna ante los riesgos que puede involucrar el impredecible comportamiento climatológico (Rodríguez, 2006).

Las variables meteorológicas como temperatura, precipitación, viento, radiación entre otras, se recopilaron automáticamente en intervalos de un minuto y se encuentra a disposición de la comunidad, en tiempo real por medio del Portal Web

del Centro de Investigación CENIGAA. También reposan en la base de datos de David Instruments.

### 4.3. DISEÑO EXPERIMENTAL

En enero de 2016 se dispusieron bandejas de germinación de 72 alveolos en un periodo de 15 días, de esta forma se logra que todas las plántulas dispongan de espacios individuales que les permitan tener las mismas oportunidades de obtener nutrientes del sustrato y disponer de espacio (evitando competencia por luz), consiguiendo de esta manera un crecimiento más homogéneo” (Bojacá et al., 2012). Se trasplantaron a bolsas de material resistente, previamente esterilizadas, con dimensiones de 26 cm x 40 cm con orificios en el fondo para facilitar su drenaje. Se utilizaron 3 kilos de arena fina para cada bolsa, evitando así la interferencia de otras variables en caso de usar suelo. La evaluación del cultivo finalizó en marzo de 2016.

Se realizó un diseño experimental para dos tratamientos, uno haciendo uso del abono orgánico mineral, el cual se denominará en adelante TS (Tratamiento empleando Sedimento) y fertilizante TF (Tratamiento Fertilizante); con un diseño completamente al azar, con un total de 48 unidades experimentales. La siembra se hizo en cuadro de 25 cm x 25 cm, logrando así la ubicación de cuatro plantas por m<sup>2</sup>. Se aplicó una lámina de agua de 85 ml por planta, manteniendo a capacidad de campo todas las unidades experimentales; cabe resaltar que el cultivo de pimentón es uno de los cultivos más exigentes en requerimientos hídricos pues si se presenta deficiencia de agua se provoca estancamiento del desarrollo fisiológico de la planta y daños en la calidad del fruto, ocasionando rajaduras o pudrición apical, enfermedades que requieren un riguroso tratamiento y si hay exceso de humedad en el suelo por efecto del riego, se incrementan las enfermedades radiculares asociadas a los hongos *Phytophthora capsici* y *Fusarium sp.* (Cano, 1998).

**Aplicación de Fertilizante.** De las 48 unidades experimentales (UE) que hicieron parte de la investigación, a 24UE se les aplicó 5.5 gr (Torrente, 2016) de abono orgánico mineral y las otras 24 fueron fertilizadas con el producto comercial Triple Q-15 en forma líquida de la empresa Soluciones Nutritivas, con contenidos de nitrógeno, fósforo y potasio de relación nutricional 1:1:1. Al realizar el cálculo (anexo C) tomando como referencia el fósforo, para el balance, se obtuvo la dosis necesaria por planta (Tabla 1).

**Tabla 1.** Descripción aplicación abono orgánico mineral y fertilizante

<b>Tratamiento</b>	<b>TS</b>	<b>TF</b>
<b>Cantidad</b>	5.5gr	0.5 cc
<b>Forma de aplicación</b>	Edáfica, se aplicó de forma granular en cada maceta.	Edáfica, se disolvió 0.5cc en 10cc de agua y se aplicaron en cada maceta.
<b>Frecuencia</b>	1 aplicación al inicio del cultivo.	

TS tratamiento abono orgánico mineral, TF tratamiento fertilizante.

#### **4.4. ESTADÍSTICA**

Se realizaron mediciones morfológicas a cada planta, para la medida del diámetro del tallo, se usó un pie de rey, para la altura de la planta se empleó una cinta métrica, las dos variables anteriores se expresaron en cm, también se hizo el conteo del número de hojas, botones florales y frutos. Las mediciones se hicieron con la siguiente frecuencia: 42, 51, 60, 73 y 83 dds (días después de la siembra). Los datos resultantes de la investigación fueron sometidos a un análisis multivariado para determinar la influencia de la altura total, diámetro del tallo, hojas, flores, botones florales y frutos de la planta durante su desarrollo vegetativo, además del tratamiento escogido para la nutrición del cultivo. Se utilizó el software estadístico R y Excel para hallar los parámetros estadísticos y graficar.

## 5. RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 5.1. VARIABLES CLIMATOLÓGICAS

**Temperatura.** Durante el desarrollo de las plantas, la temperatura estuvo dentro del rango aceptable, aunque en ocasiones se vio afectado por el fenómeno del Niño, por ende, se obtuvieron temperaturas máximas entre los 28°C y 36°C, lo cual no afectó significativamente gracias a la protección que brindaba la polisombra que se implementó en el sitio.

**Viento.** Se presentaron velocidades de viento que oscilaron entre 0.3 m/s y 1.8 m/s y no produjeron consecuencias, ya que en la etapa de floración el cultivo se mantuvo en óptimas condiciones.

**Radiación Solar.** Se pueden producir partiduras de fruta, golpes de sol y coloración irregular en la madurez. Un follaje abundante ayuda a prevenir la quemadura del sol (Ugarte et al., 2007). Se obtuvieron datos máximos de radiación hacia el mediodía (11:45 am y 1:45 pm), con valores de 830 a 1032 W/m<sup>2</sup> que justifican el desarrollo de la enfermedad denominada “golpe de sol” (Figura 6), afectando el 8% del cultivo.



**Figura 6.** Pimentón con daños causados por golpe de sol

**Humedad Relativa.** en la investigación se registraron humedades promedio del 40 al 45% en horas del mediodía cuando la temperatura se encontraba a 36°C, para controlar esta humedad, se humedeció la polisombra y se hizo disposición de recipientes llenos de agua alrededor de las unidades experimentales para lograr el aumento de la evaporación y consigo la humedad relativa.

## 5.2. VARIABLES CUANTITATIVAS

Las variables cuantitativas que se tuvieron en cuenta fueron: Altura, diámetro y hojas de las plantas. En la Tabla 2, se muestran los parámetros estadísticos de estas variables, para cada medición.

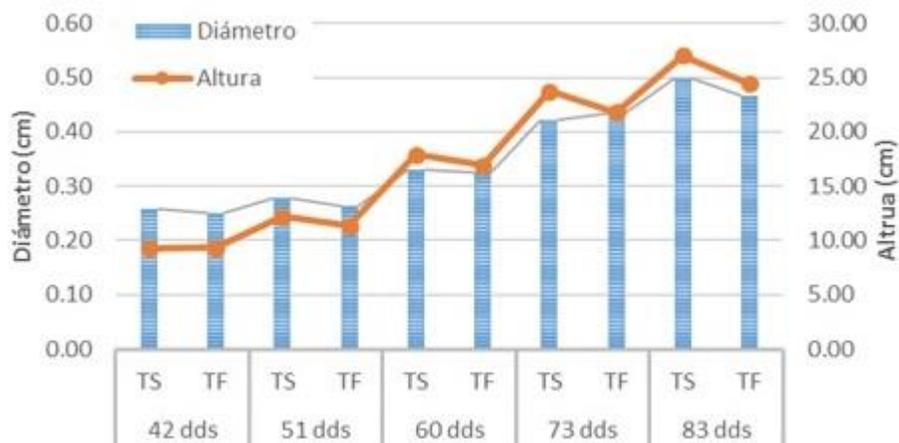
**Tabla 2.** Parámetros estadísticos de las variables morfológicas de las plantas de pimentón en los dos tratamientos

Parámetros Estadísticos	dds	Diámetro (cm)		Altura (cm)		Nro. Hojas	
		TS	TF	TS	TF	TS	TF
Mínimo	42	0.20	0.10	6.20	6.30	7.00	7.00
	51	0.20	0.20	10.00	7.50	10.00	3.00
	60	0.30	0.20	14.80	13.90	10.00	9.00
	73	0.30	0.30	17.70	15.90	18.00	11.00
Máximo	83	0.40	0.30	18.30	12.40	21.00	13.00
	42	0.30	0.30	12.50	11.80	13.00	12.00
	51	0.40	0.30	16.50	14.40	15.00	15.00
	60	0.50	0.40	24.60	22.40	20.00	19.00
Primer Cuartil	73	0.50	0.60	33.40	29.00	40.00	35.00
	83	0.70	0.60	38.60	30.30	41.00	44.00
	42	0.20	0.20	8.55	8.45	8.75	9.00
	51	0.28	0.20	10.95	10.50	11.75	11.00
Tercer Cuartil	60	0.30	0.30	16.20	15.15	11.00	11.00
	73	0.40	0.40	21.75	19.27	22.75	22.00
	83	0.50	0.40	24.85	23.15	28.00	25.75
	42	0.30	0.30	10.10	10.03	10.00	10.00
Media	51	0.30	0.30	13.43	12.05	14.00	13.00
	60	0.33	0.40	18.80	18.30	14.25	13.25
	73	0.50	0.50	25.80	23.55	29.25	29.00
	83	0.50	0.50	28.55	26.40	36.25	38.00
Desviación Estándar	42	0.26	0.25	9.29	9.36	9.67	9.46
	51	0.28	0.26	12.20	11.30	12.67	11.96
	60	0.33	0.33	17.90	16.93	13.38	12.88
	73	0.42	0.43	23.72	21.78	26.62	25.54
Varianza	83	0.50	0.47	27.03	24.39	31.88	31.58
	42	0.05	0.06	1.52	1.21	1.66	1.10
	51	0.05	0.05	1.72	1.48	1.40	2.46
	60	0.06	0.05	2.32	2.11	2.86	2.82
Coeficiente de Variación %	73	0.07	0.07	3.58	3.13	5.09	5.48
	83	0.06	0.07	4.48	3.81	6.10	7.60
	42	0.00	0.00	2.30	1.46	2.75	1.22
	51	0.00	0.00	2.94	2.18	1.97	6.04
Coeficiente de Variación %	60	0.00	0.00	5.40	4.44	8.16	7.94
	73	0.00	0.00	12.85	9.78	25.90	30.00
	83	0.00	0.00	20.06	14.51	37.24	57.73
	42	19.49	23.59	16.32	12.90	17.17	11.66
Coeficiente de Variación %	51	18.23	18.84	14.07	13.07	11.08	20.55
	60	16.71	16.36	12.98	12.44	21.35	21.89
	73	15.64	16.20	15.11	14.36	19.11	21.44
	83	11.80	15.04	16.57	15.62	19.15	24.06

TS tratamiento abono orgánico mineral, TF tratamiento fertilizantes, dds días después de siembra.

**Diámetro del tallo.** La media a los 83 dds para el tratamiento del abono orgánico mineral resultó superior a la del fertilizante. La desviación estándar en todas las medidas fue mínima, lo cual significa que todos los valores son cercanos a la tendencia central. La varianza es igual a cero, porque no hay valores atípicos y el porcentaje del coeficiente de variación mayor se presentó para el tratamiento con fertilizante a los 42 dds (Tabla 2), mientras que el menor para el tratamiento con abono orgánico mineral a los 83 dds, en esta última medición se aprecia la mayor diferencia de los porcentajes de coeficiente de variación entre los dos tratamientos.

En la Figura 7 se visualiza solo a los 73 días después de la siembra (dds), el tratamiento fertilizante (TF) supera el diámetro promedio del tratamiento del abono orgánico mineral (TS), para los demás periodos de medición el tratamiento del abono es superior al del fertilizante. Incluso en la última medición a los 83 dds el del abono presenta una media de 0.5 cm y el fertilizante de 0.47 cm. Consecuentemente, para el tratamiento abono orgánico mineral se obtuvo un mayor diámetro de la planta. La variable altura presentó picos significativamente más altos a través del tiempo en el tratamiento de abono orgánico mineral con respecto al tratamiento fertilizante.

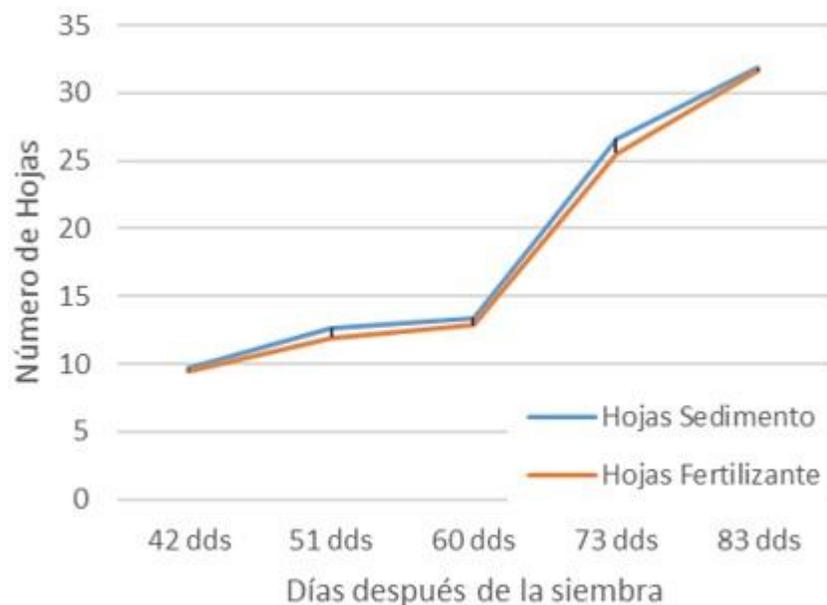


**Figura 7.** Comparación variables diámetro y altura en plantas de pimentón

**Altura de la planta.** Esta variable presentó datos extremos significativos con relación a la media, lo anterior justifica el incremento de la desviación estándar con el aumento de los días después de la siembra, los datos más lejanos a la tendencia central, fueron las alturas mínimas a los 83 días después de la siembra, para el tratamiento con abono orgánico mineral y fertilizante 8.7 cm y 11.9 cm por debajo de la media respectivamente. Igualmente se observan alturas máximas

distantes de la tendencia central, lo cual puede atribuirse a un conjunto de variables no contempladas en la investigación que contribuyeron a un mayor crecimiento. Como se observa en la Tabla 2, el Tratamiento con abono orgánico mineral obtuvo una varianza de 20.06 cm, mientras que para el tratamiento con fertilizante fue de 14.51 cm.

**Número de hojas.** Para los 73 dds se observa en el tratamiento abono orgánico mineral, se evidencian los valores extremos con un máximo de 40 hojas por planta y un mínimo de 18, el primer cuartil al que corresponde el 25 % se obtuvo un valor de 22.75, siendo el más cercano a la media con un valor de 26. A su vez, para el tratamiento fertilizante en el mismo periodo, se tiene un valor máximo de 35, un valor mínimo de 11 y la media con un valor de 25.5. Se aprecia el primer cuartil con un valor de 22 estando más cercano a la media. En la Figura 8, se observa que el tratamiento con mayor número de hojas fue el del abono.

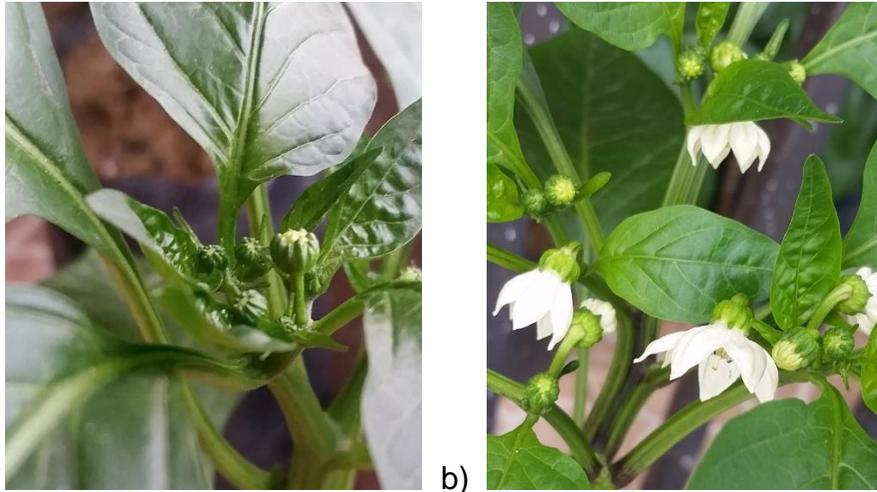


**Figura 8.** Comparación número de hojas en plantas de pimentón

### 5.3. VARIABLES CUALITATIVAS

Las variables cualitativas tenidas en cuenta fueron: Botones florales, flores y frutos; para estas se determinó el porcentaje de plantas que presentaban dichas variables.

A los 42 dds no habían botones florales (Figura 9a), por lo tanto no se contempla ese día en la Tabla 3, sin embargo el porcentaje de botones florales es significativamente alto a los 73 días, dado que para el tratamiento de abono orgánico mineral, el 100 % de las plantas presentaron botones florales y el tratamiento de fertilizante el 95.8 %, mientras que las flores (Figura 9b) para el tratamiento de fertilizante se cayeron en el periodo comprendido entre 52 y 60 dds, porque disminuyó de 8.3 % a 0 %, lo que afectó la producción.



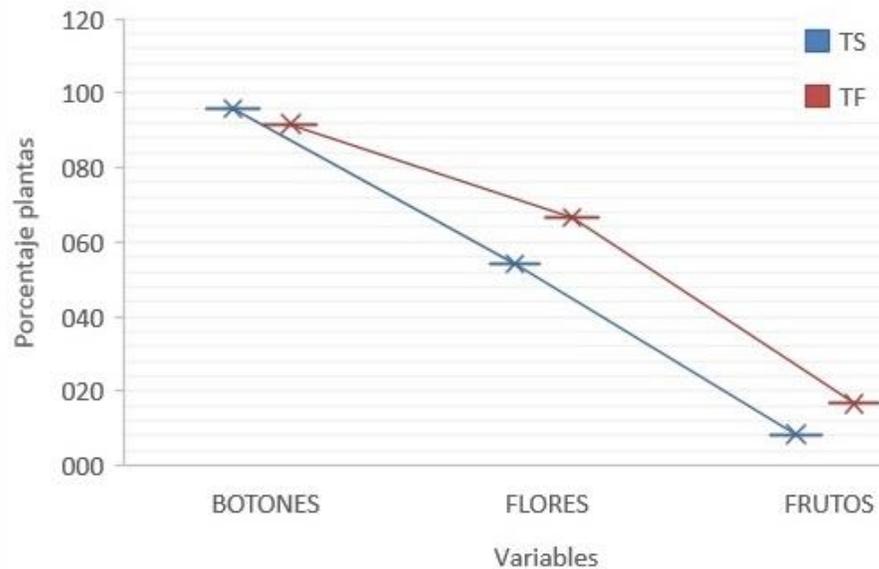
**Figura 9.** a) Botones florales y b) Flores de pimentón

**Tabla 3.** Porcentaje de plantas con botones, flores y frutos.

VARIABLE	51 dds		60 dds		73 dds		83 dds	
	TS	TF	TS	TF	TS	TF	TS	TF
Botones	4.17	0.00	8.33	0.00	100.00	95.83	95.83	91.67
Flores	4.17	8.33	8.33	0.00	8.33	16.67	54.17	66.67
Frutos	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.33	16.67

TS tratamiento abono orgánico mineral, TF tratamiento fertilizantes, dds días después de siembra

A los 83 días después de la siembra, se presentan tres variables determinantes para la producción de pimentón, en la Figura 10, se observa que el tratamiento con abono orgánico mineral posee mayor porcentaje de plantas con botones florales que el de fertilizante. No obstante, el tratamiento con fertilizante resultó con más porcentaje de plantas con flores y frutos (Figura 11). En la tabla 3, se refleja, para el tratamiento fertilizante se obtuvo el doble de porcentaje de plantas con frutos que en el abono.



**Figura 10.** Variables cualitativas 83 dds en pimentón



**Figura 11.** Frutos de pimentón a los 83 dds

#### 5.4. RESULTADOS ANÁLISIS DE SEDIMENTOS

Para conocer el estado inicial del sustrato (lodo) empleado para la investigación se presentan los resultados del análisis físico y químico de la muestra extraída de La Laguna Verde del CIEA La Tribuna (Tabla 4). Se analizan los resultados de la granulometría, textura, capacidad de intercambio catiónico, saturación de aluminio

intercambiable, bases saturadas, pH y materia orgánica sin tener en cuenta los elementos mayores y menores.

**Tabla 4.** Resultados de Análisis Químico del lodo

INFORME Y RESULTADOS DE ANÁLISIS QUÍMICO DEL SUELO															FECHA								
GESTIÓN AGROLÓGICA															AAAA-MM-DD								
															2015-11-11								
NOMBRE Y APELLIDO / EMPRESA / PROYECTO										CENIGAA					No. SOLICITUD		1057_1						
DEPARTAMENTO / MUNICIPIO / LOCALIZACIÓN										HUILANEIVA/VEREDA TAMARINDO					TIPO DE MUESTRA		SUELO						
SUPLEMENTO DE RESULTADOS										<input type="checkbox"/>		DE FECHA			N.A		DIRECCIÓN DEL CLIENTE					CRA 1 CON AV PASTRANA	
No. LAB.	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO	GRANULOMETRÍA			CLASE TEXTURAL	GRAVILLA %	RELACIÓN	pH	A.I. cmol(+)/Kg	S.A.I. %	SALINIDAD		CaCO <sub>3</sub>		RETENCIÓN FOSFÓRICA %	MATERIA ORGÁNICA							
		ARENA %	LIMO %	ARCILLA %							CE (dS/m)	PSI	Cualitativo*	Cuantitativo %		C.O. %	N. TOTAL %						
1-10927	B-24 SEPT	46,2	30,3	23,5	F		(1:2)	5,5	0,36	1,2						8,5							
COMPLEJO DE CAMBIO (cmol(+)/Kg)							ALUMINIO ACTIVO %	HIERRO ACTIVO %	ÍNDICE MELÁNICO	ELEMENTOS MENORES (mg/Kg)					mg/Kg		Fósforo (mg/Kg)						
CIC	Ca	Mg	K	Na	B.T.	S.B. %				Mn	Fe	Zn	Cu	B	S	N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>3</sub>	Disponibile	Total				
40,4	21,1	7,9	1,2	0,37	30,6	75,7										88,3	100	17,8					

Fuente: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC)

**Granulometría y textura.** En la granulometría se aprecia que el lodo utilizado como sustrato es de clase textural franca, esta se considera una textura ideal ya que tiene una mezcla equilibrada entre arena, limo y arcilla, lo que trae consigo una buena permeabilidad al agua, retención de agua y nutrientes. El cultivo de pimentón se adapta bien en suelos franco-arcillosos. Este tipo de textura otorga a los suelos una capacidad de intercambio catiónico óptima, por cuanto las arcillas son coloides que actúan como imanes de cationes, además, gracias a su relativo alto contenido de arena y limo, el suelo contará con un sistema de drenaje adecuado (Bojacá et al., 2012).

**Humedad.** El lodo durante el desarrollo del experimento mantuvo una humedad del 15% aproximadamente, que se ajusta al rango permitido según la norma 5167 (ICONTEC, 2014) que indica valores del 5% al 15%.

**pH.** Según la norma 5167 (ICONTEC, 2014) para abono orgánico mineral sólido se debe reportar el pH que en este caso corresponde a un pH fuertemente ácido (FAO, 2016), donde posiblemente las plantas que crecen en este tipo de suelo pueden experimentar una variedad de síntomas que incluyen la toxicidad por el aluminio e hidrógeno y/o manganeso, así como las deficiencias de nutrientes potenciales de calcio y magnesio. Si el pH no es el adecuado (5,5 – 6,8), se puede corregir mediante la adición de enmiendas como cal y/o azufre.

**Materia orgánica.** El contenido en materia orgánica se encuentra dentro del rango aceptado por la norma 5167 (ICONTEC, 2014) siendo mayor del 5% y menor del 15 %, favoreciendo cualquier actividad agrícola y siendo esta una característica muy deseada por todos los agricultores (Tabla 4 y Anexo D).

**Capacidad de Intercambio Catiónico (C.I.C).** La CIC representa un nivel alto, indica que existe un alto contenido de arcilla y/o materia orgánica, se consideran más fértiles, ya que pueden retener más nutrientes. Por lo tanto, la CIC del suelo afecta directamente la cantidad y frecuencia de aplicación de fertilizantes (Sela, s. f.-b).

**Saturación de Bases (S.B).** Se obtuvo un valor alto, al ser superior al 50 %, es un resultado apetecido en la mayoría de ocasiones para reducir la probabilidad de acidez en el suelo, representa el porcentaje de intercambio en el suelo ocupados por los iones básicos Ca, Mg, Na y K, la diferencia entre ese número y 100 es el porcentaje de intercambio ocupados por cationes ácidos: Al y H (Espinoza, Slaton, & Mozaffari, s. f.).

**Saturación de Acidez Intercambiable (S.A.I).** El porcentaje de saturación de acidez intercambiable es aceptable para el lodo, no manifiesta problemas de acidez, ni toxicidad y solo es limitante para cultivos muy susceptibles. En este, se establece la proporción del complejo coloidal que está dominada por acidez y por lo tanto permite estimar el impacto de la misma en la fertilidad de un suelo dado (Bertsch, 1987).

## 5.5. SMART 3 COLORIMÉTRICO

A continuación, se presentan los resultados de las pruebas químicas obtenidas con el “Smart 3” correspondientes a la caracterización de los elementos mayores y menores, y se compararon con los resultados obtenidos en el laboratorio certificado IGAC (Tabla 5).

**Tabla 5.** Comparativo de los análisis del lodo entre IGAC y Smart 3

ELEMENTO	IGAC (ppm)	SMART 3 (ppm)
Calcio	4220	7674
Magnesio	948	495.36
Potasio	469.2	185

Manganeso	106	60
Hierro	1004	352.5
Cobre	3.9	4.7
N-NO <sub>3</sub> Nitrato	100	35
Fósforo	17.8	20.16

El laboratorio del IGAC entregó resultados en unidades de cmol/Kg para las bases de cambio y fueron convertidas a unidades de mg/kg que a su vez equivalen a ppm. Se observan diferencias significativas en los resultados del IGAC, en comparación con los medidos en el “Smart 3”, se debe considerar, la muestra procede de depósitos de sedimentos los cuales se caracterizan por ser heterogéneos y pueden presentar diferentes concentraciones en cada elemento. No obstante, para las pruebas de fósforo y cobre el resultado fue similar (Anexo E y Tabla 4).

## **BASES DE CAMBIO**

**Calcio.** Como se evidencia en la tabla 4, se obtuvo un alto contenido de calcio, lo cual se atribuye a la gran cantidad de caracoles que se presentan en el CIEA La Tribuna. Es importante este resultado, ya que el calcio es un componente de las paredes celulares en plantas y se sabe que estimula las raíces y desarrollo de las hojas, así como activa varias reacciones enzimáticas implicadas en el metabolismo de la planta. Indirectamente, el calcio influye en los rendimientos de cultivos mediante la reducción de la acidez y de los suelos mediante la reducción de la toxicidad de otros minerales del suelo tales como manganeso, zinc y aluminio (LaMotte, 2014).

**Magnesio.** Se obtiene un valor alto de magnesio, el cual representa un papel importante para la fotosíntesis, ya que es un componente básico de la clorofila. La ausencia de este elemento, al igual que cualquier deficiencia puede conducir a una reducción del rendimiento, también a una mayor susceptibilidad de la planta a enfermedades (Sela, s. f.-a).

**Potasio.** Se encontraron altos niveles de potasio, siendo este un elemento importante para el cultivo de pimentón.

## **OLIGOELEMENTOS**

**Manganeso.** En esta prueba se encontraron resultados relativamente cercanos entre sí, para el Smart 3 y el IGAC, además son adecuados para hacer uso de este suelo en la agricultura.

**Hierro.** Se evidencia un alto contenido de hierro, limitando la absorción de otros elementos en el sustrato, como es el caso del manganeso por una condición de antagonismo.

**Cobre.** En esta prueba se obtuvo la mayor precisión al ser comparada con los dos medios de caracterización de la muestra, el resultado se encuentra en rango alto, es necesario tener en cuenta que el exceso de cobre en el sustrato puede afectar el desarrollo de la raíz; este quemara sus puntas provocando un crecimiento lateral excesivo, si no es corregido, la amenaza de toxicidad por cobre puede reducir la ramificación y finalmente provocar el deterioro de la planta, aunque es de los micronutrientes necesarios en pequeñas dosis, es indispensable para intensificar el sabor, el color en las hortalizas y en las flores (Bloodnick, 2016).

**N-NO<sub>3</sub> Nitrógeno.** Según los resultados apreciados en la tabla 4, se obtiene un alto contenido, el cual representa un exceso de nitrógeno. Lo cual debe considerarse en los balances químicos para usar el lodo como sustrato, sin embargo, es necesario resaltar que el nitrógeno es un componente de la clorofila en las plantas, muy influyente en el tamaño del fruto. Cuando se usa en las dosis recomendadas, simula la utilización de fósforo, potasio y otros elementos esenciales de nutrientes (Sela, s. f.-a).

**Fósforo.** En los resultados se obtuvo un rango adecuado de fósforo, el cual es necesario para el crecimiento robusto de la planta y la actividad de las células pues fomenta el desarrollo de raíces y el rendimiento de los cultivos. Un exceso de fósforo no causa el efecto nocivo, tiene un efecto importante sobre el equilibrio de la planta (LaMotte, 2014).

## **5.6 RELACIÓN COSTO – BENEFICIO**

Dado que el experimento fue más controlado (macetas), se realiza un ajuste aumentando el volumen de las dosis de fertilizante para el cálculo, con base en las experiencias de los agricultores de la región, en dosificación de los fertilizantes. En la Tabla 6 se muestra la relación costo – beneficio, proyectada para una hectárea de cultivo de pimentón, en la cual se observa la diferencia de los costos entre

tratamientos es mínima, en comparación con el rendimientos dado para el tratamiento fertilizante, siendo este el doble que el del abono orgánico mineral.

**Tabla 6.** Relación costo - beneficio para una hectárea de pimentón

COSTO 1 ha (COP)		BENEFICIO 1 ha (COP)	
TS	TF	TS	TF
\$ 1,625,000	\$ 1,926,000	\$ 2,117,070	\$ 4,236,681

TS tratamiento abono orgánico mineral, TF tratamiento fertilizantes

## 6. CONCLUSIONES

Los lodos de la Laguna Verde de la Tribuna, poseen propiedades físico químicas que lo posicionan como un sustrato potencial para el mejoramiento de las características nutricionales del suelo y las propiedades físicas, favoreciendo la sostenibilidad del mismo a mediano y largo plazo.

El fertilizante triple Q como producto usado, estimula el desarrollo rápido de flores y la producción de frutos, para la cual, el sedimento actúa de manera más prolongada a través del tiempo, el porcentaje de frutos para el tratamiento con fertilizante fue el doble que el tratamiento con sedimento, siendo esta una variable determinante para la producción por tal motivo, se elige como tratamiento final, el que emplea fertilizante.

El costo del lodo frente al fertilizante representa gran posibilidad de aprovechamiento para la comunidad campesina, debido a la disponibilidad del material cercano a sus cultivos, además por el bajo costo de inversión en comparación con el fertilizante.

## **7. RECOMENDACIONES**

Caracterizar los lodos mediante los análisis de toxicidad (metales pesados) y fitosanitarios, debido a su empleo en la agricultura y finalmente para el beneficio de productos agroalimentarios.

Hacer experimentación en campo, ya que esto implica el uso de mayor cantidad de fertilizantes en comparación de la presente experiencia bajo condiciones controladas.

Planear y ejecutar ensayos utilizando varias dosis de sedimento y optimizar este mezclando otros sustratos orgánicos, con el fin de obtener mayor rendimiento.

Validar la tecnología del Smart 3, con análisis detallado para cada procedimiento de esta manera precisar la incertidumbre de la tecnología portátil, versus los resultados del laboratorio certificado.

Hacer la evaluación hasta la fase de maduración y medir producción hasta culminar el ciclo del cultivo.

## 8. BIBLIOGRAFIA

- Aguado-Santacruz, G. A. (2011). Biofertilización de maíz: práctica redituable, factible y necesaria para la agricultura de nuestro país. InfoAserca. Recuperado a partir de <http://www.infoaserca.gob.mx/claridades/revistas/214/ca214-42.pdf>
- Atarrayas Films. (2014). «La Tribuna» Centro de Investigación y Educación Ambiental - Ecopetrol - YouTube. Recuperado 29 de noviembre de 2016, a partir de <https://www.youtube.com/watch?v=d7HVVMKV4Rk>
- Ayuso, M., Hernández, T., García, C., & Costa, F. (1992). Utilización de un lodo aerobio como sustitutivo de fertilizantes fosforados inorgánicos. *Suelo y Planta*, 2, 271-280.
- Bertsch, F. (1987). *Manual Para Interpretar la Fertilidad de Los Suelos de Costa Rica*. Editorial Universidad de Costa Rica.
- Bhattacharjee, R., & Dey, U. (2014). Biofertilizer, a way towards organic agriculture: A review. *African Journal of Microbiology Research*, 8(24), 2332-2342.
- Bloodnick, E. (2016, noviembre 8). La función del cobre en el cultivo de plantas | PRO-MIX. Recuperado 20 de agosto de 2016, a partir de <http://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/la-funcion-del-cobre-en-el-cultivo-de-plantas/>
- Bojacá, C. R., Monsalve, O., Casilimas, H., Gil, R., Villagrán, E., Arias, L. A., & Fuentes, L. S. (2012). *Manual de producción de pimentón bajo invernadero*. Bogotá, Colombia. Recuperado a partir de <http://www.digitaliapublishing.com/a/39015/>
- Cano, M. (1998). Pimiento y pimentón en el riego localizado.
- CENIGAA. (2015). LA TRIBUNA. Recuperado 29 de noviembre de 2016, a partir de <http://cenigaa.org/reserva-la-tribuna/>
- DANE. (2015). Insumos y factores asociados a la producción agropecuaria. Recuperado a partir de [https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/Bol\\_Insumos\\_jul\\_2015.pdf](https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/Bol_Insumos_jul_2015.pdf)
- Espinoza, L., Slaton, N., & Mozaffari, M. (s. f.). Como interpretar los resultados de los análisis de suelos. *Agricultura y recursos naturales*, 4.

- FAO. (2016). Portal de suelos de la FAO. Recuperado a partir de <http://www.fao.org/soils-portal/manejo-del-suelo/manejo-de-suelos-problematicos/suelos-acidos/es/>
- FIRA. (2010). El Mercado de los Fertilizantes en México 2009. Recuperado 12 de diciembre de 2016, a partir de <http://documents.mx/documents/el-mercado-de-los-fertilizantes-en-mexico-2009.html>
- Guenko, G. (1983). *Fundamentos de la horticultura cubana*. La Habana, Cuba: Ciencia y tecnología.
- ICONTEC. (2014, junio 15). Productos para la industria agrícola. Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas de suelo - NTC 5167.
- IFA, & FAO. (2000). Estrategias en Materia de Fertilizantes. Recuperado a partir de <ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/fertstrs.pdf>
- INFOAGRO. (s. f.). Agroinformación- EL CULTIVO DEL PIMIENTO. 1ª parte. Recuperado 19 de mayo de 2016, a partir de <http://www.infoagro.com/hortalizas/pimiento.htm>
- INIFAP, & CIRCE. (2012). Introducción al uso y manejo de los biofertilizantes en la agricultura. Recuperado a partir de <http://www.bioenergeticos.gob.mx/wp-content/uploads/2015/06/Introduccion-al-uso-y-manejo-de-los-biofertilizantes-en-la-agricultura.pdf>
- Johnson, M., & Koenig, R. (2011). Selecting and Using Organic Fertilizers. Recuperado a partir de [http://digitalcommons.usu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1147&context=extension\\_curall](http://digitalcommons.usu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1147&context=extension_curall)
- LaMotte. (2014). Operator's Manual SMART 3 SOIL versión 11.20.14.
- Marlow, D. (2012, agosto 22). Protege tus pimientos de temperaturas altas en el invernadero. Recuperado 5 de abril de 2016, a partir de <http://www.hortalizas.com/horticultura-protégida/invernadero/protege-tus-pimientos-de-temperaturas-altas-en-el-invernadero/>
- Navarro, P., Moral, H., Gómez, L., & Mataix, B. (1995). Residuos orgánicos y la agricultura. Recuperado a partir de <http://publicaciones.ua.es/filespubli/pdf/LD84790819458992131.pdf>
- Olaya, A., & Gutiérrez, G. A. (2014). *La Tribuna, reserva natural en zona petrolera del norte del Huila*. Neiva, Huila: ECOSURC.
- Oviedo, G. A. M. (2015). Validación de Uso de Lodos Generados en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Tipo UASB como Insumo en Recuperación de Suelos Agrícolas. *ESAICA*, 1(1), 18–23.

- Pérez Rojas, H., & Cortés, M. de P. (2007). *Simulación y control de la temperatura dentro de un invernadero*. Universidad de la Salle. Recuperado a partir de <http://repository.lasalle.edu.co/handle/10185/16656>
- Ramírez Pisco, R., & Pérez Arenas, M. I. (2006). Evaluation of the potential for biosolids obtained from wastewater treatment for agricultural use and their effect on cultivation of red radish (*Raphanus sativus* L.). *Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín*, 59(2), 3543–3556.
- Randle, W. M., & Honma, S. (1981). *Dormancy in peppers* (Vol. 14). Scientia Horticulturae.
- Reche Mármol, J. (2010). *Cultivo del pimiento dulce en invernadero*. Sevilla: Consejería de Agricultura y Pesca, Servicio de Publicaciones y Divulgación.
- Robledo, S., V. Espinosa, H., R. Maldonado, T., J.E. Rubiños, P., E. Hernández, A., E. Ojeda, T., & Corlay, C. (2010). Sales solubles y metales pesados en suelos tratados con biosólidos. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 16(2), 241-251.
- Rodríguez, J. A. (2006). *Diseño de un sistema inalámbrico para el monitoreo en tiempo real de temperatura y humedad relativa bajo invernadero*. Universidad de la Salle, Bogotá, Colombia. Recuperado a partir de <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/16652/T44.06%20R618d.pdf?sequence=1>
- Sela, G. (s. f.-a). Guía de interpretación de análisis de suelos. Smart Fertilizer. Recuperado a partir de <http://www.smart-fertilizer.com/es/articles/soil-test-interpretation>
- Sela, G. (s. f.-b). La capacidad de intercambio catiónico. Smart Fertilizer. Recuperado a partir de <http://www.smart-fertilizer.com/es/articles/Cation-Exchange-Capacity>
- Torres, P., Madera, C., & Silva, J. (2009). Mejoramiento de la calidad microbiológica de biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas. *Revista EIA*, (11), 21–37.
- Ugarte, M. E. B., Belmar, C. A., & Holwerda, H. T. (2007). Guía de manejo de nutrición vegetal de especialidad pimiento. Recuperado a partir de [http://www.sqmvitas.com/Portals/0/pdf/cropKits/SQM-Crop\\_Kit\\_Pepper\\_L-ES.pdf](http://www.sqmvitas.com/Portals/0/pdf/cropKits/SQM-Crop_Kit_Pepper_L-ES.pdf)
- Universidad nacional del centro de Argentina. (s. f.). Pimiento: un cultivo muy productivo bajo invernadero. Recuperado a partir de <http://www.faa.unicen.edu.ar/crescaa/Pimiento>
- Valadez, L. (1994). *Producción de hortalizas*. México DF.

Valencia, M. (s. f.). Producción de abonos orgánicos. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 10(34), 109–120.

## ANEXOS

### ANEXO A

Temperaturas críticas para pimentón en sus fases de desarrollo

FASES DEL CULTIVO	TEMPERATURA (°C)		
	OPTIMA	MÍNIMA	MÁXIMA
Germinación	20-25	13	40
Crecimiento vegetativo	20-25 (día) 16-18 (noche)	15	32
Floración y fructificación	26-28 (día) 18-20 (noche)	18	35

Fuente: Guía de Manejo de Nutrición Vegetal de Especialidad Pimiento. Disponible en: <http://www.sqm.com/Portals/0/pdf/cropKits/SQM-Crop Kit Pepper L-ES.pdf>

## ANEXO B

Ficha técnica estación meteorológica VANTAGE PRO2 6162, Davis Instruments

### VANTAGE PRO2 6162 Wireless

#### DESCRIPCIÓN

Esta compuesta por una estación en la cual se encuentran los sensores y una consola, la estación envía los datos a la consola de forma inalámbrica (la distancia entre la consola y la estación es de máximo 300 metros en línea de vista) .Permite adicionar consolas para tener los datos en más de un lugar.

#### SENSORES

TEMPERATURA,  
HUMEDAD,  
VIENTO  
(12METROS DE  
CABLE),  
PRECIPITACIÓN,  
RADIACION Y UV

#### CALCULA

En la consola se puede observar temperatura externa e interna, punto de rocío. iconos de pronostico del tiempo de 12, 24 y 48 horas, fase lunar, las horas de salida y puesta del sol, las gráficas de las tendencias del tiempo y alarmas.



#### ALMACENAMIENTO

EL ALMACENAMIENTO ES  
ADICIONAL SE DEBE  
ADQUIRIR EL SOFTWARE Y  
EL DATALOGGER POR  
APARTE

#### ALIMENTACIÓN ELECTRICA

CONSOLA: 3 BATERIAS  
TIPO C O ADAPTADOR  
AC / ESTACIÓN: PANEL  
SOLAR Y BATERIA DE  
BACKUP (3 VOLTIOS CR-  
123)

Fuente: Página web de Davis Instruments. Disponible en: <http://www.davisnet.com/case-study/remote-weather/>

## ANEXO C

Cálculo dosis de aplicación fertilizante Triple Q.

Nivel Óptimo:

$$550 \text{ ppm P} \rightarrow \frac{1375 \frac{\text{Kg}}{\text{Ha}}}{10000 \frac{\text{m}^2}{\text{Ha}}} = 0,1375 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}$$

$$\frac{0,1375 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}}{4 \text{ UE}} = 0,034375 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2} \times 1000 \text{ gr} = 35 \frac{\text{gr}}{\text{UE}}$$

Triple 15:

$$15\% \text{ P} \rightarrow 0,15 \text{ Kg P}_2\text{O}_5$$

$$\text{P}_2 = 44\%$$

$$\text{O}_5 = 56\%$$

$$100 \text{ gr} \rightarrow 44 \text{ gr P}$$

$$100 \text{ Kg de Triple 15} \rightarrow 0,15 \text{ Kg}$$

$$100 \text{ gr de Triple 15} \rightarrow 15 \text{ gr P}_2\text{O}_5$$

$$100 \text{ gr P}_2\text{O}_5 \rightarrow 44 \text{ gr P}$$

$$15 \text{ gr P}_2\text{O}_5 \rightarrow X$$

$$X = \frac{44 \times 15}{100} = 6,6 \text{ gr P}$$

$$100 \text{ gr} \rightarrow 6,6 \text{ gr}$$

$$X \leftarrow 35 \text{ gr}$$

$$X = \frac{100 \times 35}{6,6} = 530 \frac{\text{gr}}{\text{Ha}}$$

Nivel óptimo: (25 días) fase de crecimiento

$$1,45 \frac{Kg}{Ha} \text{ de } P$$

$$0,145 \frac{gr}{m^2} \text{ de } P \rightarrow 0,1 \text{ Factor de conversión}$$

$$\frac{0,145 \frac{gr}{m^2} \text{ de } P}{4 UE} = 0,036 \frac{gr}{UE}$$

$$P_2O_5 \rightarrow 44\% P$$

$$100 \text{ gr} \rightarrow 44 \text{ gr } P$$

Triple 15:

$$0,15 \frac{Kg P_2O_5}{Kg \text{ Triple } 15}$$

$$100 \text{ gr de Triple } 15 \rightarrow 15 \text{ gr } P_2O_5 \leftarrow 0,44 = 6,6 \text{ gr } P$$

$$X = \frac{100 \text{ gr Triple } 15 \times 0,036 \frac{gr}{UE}}{6,6 \text{ gr } P}$$

$$X = 0,54 \frac{gr P}{UE} \text{ De Triple } 15$$

## ANEXO D

### Consideraciones generales para interpretar análisis químicos de suelos

INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI												
SUBDIRECCIÓN DE AGROLOGÍA - LABORATORIO NACIONAL DE SUELOS												
CONSIDERACIONES GENERALES PARA INTERPRETAR ANÁLISIS QUÍMICOS DE SUELOS												
pH (H <sub>2</sub> O) 1:1	APRECIACIÓN	P mg Kg <sup>-1</sup> (BRAY II)	K cmol (+) Kg <sup>-1</sup>	C.O (%)			N.Total (%)			CIC cmol (+) Kg <sup>-1</sup>	SATURACIÓN DE BASES (SB) %	
				CLIMA			CLIMA					
				FRÍO	MEDIO	CÁLIDO	FRÍO	MEDIO	CÁLIDO			
<4.5	BAJO	<15	<0.2	<2.9	<1.7	<1.2	<0.25	<0.15	<0.10	<10	<35	
EXTREMADAMENTE ÁCIDO	MEDIO	15 - 40	0.2 - 0.4	2.9 - 8.1	1.7 - 2.9	1.2 - 2.3	0.26 - 0.50	0.16 - 0.30	0.10 - 0.20	10 - 20	35 - 50	
4.6 - 5.0	ALTO	>40	>0.4	>8.1	>2.9	>2.3	>0.50	>0.30	>0.20	>20	>50	
MUY FUERTEMENTE ÁCIDO	APRECIACIÓN	RELACIONES				CLASIFICACIÓN DE ACUERDO CON SALES Y SODIO				POTENCIAL SATURACIÓN ACÍDIZ INTERCAMBIABLE (%)	APRECIACIÓN	
5.1 - 5.5		Ca/Mg	Mg/K	Ca/K	(Ca+Mg)/K	CONDUCTIVIDAD	POTENCIAL SATURACIÓN SODIO INTERCAMBIABLE (%)	CLASE				
FUERTEMENTE ÁCIDO	RELACIÓN IDEAL	2 - 4	3	6	10	AD			<15	SIN PROBLEMAS EN GENERAL LIMITANTE PARA CULTIVOS SUSCEPTIBLES		
5.6 - 6.0						0 - 2						
MEDIANAMENTE ÁCIDO	K DEFICIENTE		>18	>30	>40	2 - 4	INFERIOR	NORMAL				
6.1 - 6.5						4 - 8	A	LIMITE	15 A 30	LIMITANTE PARA CULTIVOS MODERADAMENTE TOLERANTES		
LIGERAMENTE ACIDO	Mg DEFICIENTE	>10	<1			8 - 16	15%	S1				
6.6 - 7.3								S2				
NEUTRO	CONTENIDO OPTIMO					ELEMENTOS MENORES* (mg Kg <sup>-1</sup> )		S3				
7.4 - 7.8		Zn	Cu	Mn	Fe	0 - 4		Na	30 A 60	LIMITANTE PARA CULTIVOS TOLERANTES		
LIGERAMENTE ALCALINO	SUELO	3 - 6	1.5 - 3	15 - 30	20 - 30	4 - 8	SUPERIOR	NaS1				
7.9 - 8.4						8 - 16	A	NaS2				
MEDIANAMENTE ALCALINO	PLANTA	30 - 100	5 - 25	30 - 200	60 - 500	>16	15%	NaS3	>60	NIVELES TÓXICOS PARA LA MAYORÍA DE CULTIVOS		
8.5 - 9.0												
FUERTEMENTE ALCALINO	*Extractables con DTPA en suelos; digestión húmeda en tejido vegetal.							ÁREA DE QUÍMICA				
>9.0	Boro en suelos ( extractable en agua caliente ): 0.6 - 1.0 mg Kg <sup>-1</sup> .											
EXTREMADAMENTE ALCALINO	Boro en tejido vegetal : 30-80 mg Kg <sup>-1</sup> .											

NC(Nivel Crítico): 25 mg Kg<sup>-1</sup> NO<sub>3</sub>; 20 mg Kg<sup>-1</sup> NH<sub>4</sub>; 20 mg Kg<sup>-1</sup> S disponible (Fosfato de calcio)  
 CONCENTRACION NORMAL EN TEJIDO VEGETAL (Handbook of Reference Methods for Plant Analysis, 1998):  
 N (%): 2.5-4.5; P (%): 0.20-0.75; K (%): 1.5-5.5; Ca (%): 1.0-4.0; Mg (%): 0.25-1.0; S (%): 0.25-1.0  
 B ( mg Kg<sup>-1</sup>): 10-200; Cu ( mg Kg<sup>-1</sup>): 5-30; Fe ( mg Kg<sup>-1</sup>): 100-500; Mn ( mg Kg<sup>-1</sup>): 20-300; Zn ( mg Kg<sup>-1</sup>): 27-100; Mo ( mg Kg<sup>-1</sup>): 0.10-0.20; Cl ( mg Kg<sup>-1</sup>): 100-500

Fuente: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC)

## ANEXO E

Resultados del laboratorio IGAC y su equivalente en PPM

ELEMENTO	IGAC	CONVERSIÓN EN PPM
Calcio	21.1 cmol/Kg	4220 ppm
Magnesio	7.9 cmol/Kg	948 ppm
Potasio	1.2 cmol/Kg	469,2 ppm
Manganeso	106 mg/Kg	106 ppm
Hierro	1004 mg/Kg	1004 ppm
-Cobre	3.9 mg/Kg	3.9 ppm
N-NO <sub>3</sub> Nitrato	100 mg/Kg	100 ppm
Fósforo	17.8 mg/Kg	17.8 ppm

Resultados Del Smart 3 Colorimétrico y su equivalencia en PPM

ELEMENTO	SMART 3	CONVERSIÓN EN PPM
CALCIO	15347.9 Lb/acre	7674 ppm
MAGNESIO	990.72 Lb/acre	495.36 ppm
POTASIO	370 Lb/acre	185 ppm
MANGANESO	60 mg/Kg	60 ppm
HIERRO	352.5 mg/Kg	352.5 ppm
COBRE	4.7 mg/Kg	4.7 ppm
N-NO <sub>3</sub> NITRATO	70 Lb/acre	35 ppm
FÓSFORO	20.16 ppm	20.16 ppm

Conversión cmol/kg a mg/kg

$$\begin{aligned}
 & meq \text{ Calcio} / 100gr \text{ (cmol(+)/Kg)} * 200 \text{ mg/Kg} \\
 & meq \text{ Magnesio} / 100gr \text{ (cmol(+)/Kg)} * 120 \text{ mg/Kg} \\
 & meq \text{ Potasio} / 100gr \text{ (cmol(+)/Kg)} * 391 \text{ mg/Kg} \\
 & meq \text{ Sodio} / 100gr \text{ (cmol(+)/Kg)} * 230 \text{ mg/Kg}
 \end{aligned}$$

Fuente: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC)