

**EFFECTO DEL BIOSOLIDO CLASE B, SOBRE EL COMPORTAMIENTO  
PRODUCTIVO DE CEBADA VARIEDAD METCALFE (*Hordeum vulgare L.*) EN PTAR  
“EL SALITRE”, ENGATIVA, BOGOTA**

**ADRIANA MARIA ARIZA GUEVARA**

**UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA  
FUSAGASUGÁ  
2017**

EFFECTO DEL BIOSOLIDO CLASE A, SOBRE EL COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO  
DE CEBADA VARIEDAD METCALFE (*Hordeum vulgare L.*) EN PTAR “EL SALITRE”,  
ENGATIVA, BOGOTA

ADRIANA MARIA ARIZA GUEVARA

Trabajo de grado, como requisito parcial para la obtención del título de Ingeniería  
Agronómica

DIRECTOR

Jairo Enrique Granados Moreno. MSc

Codirector

Luis Torres. Esp

Ingeniero Agrónomo

UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA  
FUSAGASUGÁ  
2017

NOTA DE ACEPTACIÓN

---

Jurado

---

Jurado

---

Jurado

Fusagasugá, Septiembre / 2017

## **DEDICATORIA**

Dedico este Trabajo a Dios, a mis padres Julio Ariza y Socorro Guevara quienes siempre me apoyaron incondicionalmente, a mis hermanos y demás familia quienes depositaron su confianza en mí, y finalmente a mi hijo Julián Matías Murcia Ariza quien se convirtió en un motor de vida y me dio la entereza y el coraje suficiente para culminar mi carrera universitaria.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios infinitas gracias por permitirme vivir y permitirme culminar mis estudios universitarios.

A mis padres y mis hermanos por todo el apoyo incondicional que me brindaron siempre durante todos estos años.

Un profundo agradecimiento a la empresa la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales El Salitre por haberme dado la confianza para realizar toda la investigación compilada en el presente trabajo.

A los profesores Jorge Guerrero, Jairo Granados y Luis Torres por su apoyo, su dedicación y su asesoría durante este trabajo.

Y a toda mi familia en general y aquellas personas que de una u otra forma, colaboraron o participaron en la realización de este trabajo.

## TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN .....	16
2. JUSTIFICACIÓN .....	17
3. OBJETIVOS .....	18
3.1. OBJETIVO GENERAL .....	18
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	18
4. REVISIÓN LITERARIA .....	19
4.1. CARACTERIZACIÓN DEL BIOSÓLIDO .....	19
4.2. CLASES DE BIOSÓLIDO.....	19
4.3. LEGISLACIÓN BIOSÓLIDO.....	20
4.4. PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE BIOSÓLIDOS .....	22
4.5. APROVECHAMIENTO DEL BIOSÓLIDO EN COBERTURA DE SUELOS .....	22
4.6. CALIDAD DE LA VEGETACIÓN DESARROLLADA SOBRE LA MEZCLA SUELO – BIOSÓLIDO.....	24
4.7. CARACTERIZACIÓN AGRONÓMICA DE CEBADA (HORDEUM VULGARE).....	27
4.7.1. Origen .....	27
4.7.2. Taxonomía .....	27
4.7.3. Morfología .....	28
4.7.4. Requerimientos edafoclimáticos del cultivo .....	28
4.7.5. Estadios fenológicos de Cebada (Hordeum vulgare) .....	29
4.7.6. Producción a nivel mundial.....	31
4.7.7. Producción nacional .....	31
4.7.8. Plagas .....	32
4.7.9. Enfermedades .....	32
4.7.10. Manejo agronómico del cultivo de Cebada (Hordeum vulgare).....	34
4.8. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DEL SUELO.....	35
4.8.1. Saturación de acidez intercambiable .....	35
4.8.2. Acidez intercambiable .....	35
4.8.3. Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC).....	35
4.8.4. Potencial de hidrogeno.....	36
4.8.5. Bases totales .....	36
4.8.6. Calcio (Ca) .....	36
4.8.7. Magnesio (Mg) .....	36
4.8.8. Potasio.....	36
4.8.9. Sodio .....	37
4.8.10. Conductividad eléctrica .....	37
4.8.11. El intercambio catiónico y su relación con la disponibilidad de Ca, Mg y K .....	37

4.8.12. Carbono orgánico .....	37
5. MATERIALES Y MÉTODOS .....	39
5.1. MATERIALES .....	39
5.1.1. Localización Del Área de estudio.....	39
5.1.2. Material vegetal .....	39
5.1.3. Sustrato .....	39
5.1.4. Materiales de campo .....	40
5.2. METODOLOGÍA .....	40
5.2.1. Unidad experimental.....	40
5.2.2. Siembra .....	40
5.2.3. Control de plagas y enfermedades.....	40
5.2.4. Muestreo .....	41
5.3. VARIABLES MEDIDAS.....	41
5.4. ANÁLISIS DE LABORATORIO REALIZADOS .....	41
5.4.1. Análisis físico-químicos de las diferentes mezclas de suelo-biosólido.....	41
5.4.2. Análisis de Bioacumulación de Metales Pesados.....	41
5.4.3. Diseño experimental .....	41
5.4.4. Análisis Estadístico.....	42
5.4.5. Tratamientos.....	42
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	44
6.1. PORCENTAJE DE GERMINACIÓN .....	46
6.2. PESO SECO .....	48
6.3. ALTURA .....	50
6.4. PRODUCCIÓN EN gr .....	51
6.5. SATURACIÓN DE ACIDEZ INTERCAMBIABLE.....	53
6.6. ACIDEZ INTERCAMBIABLE.....	54
6.7. CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO .....	55
6.8. POTENCIAL DE HIDRÓGENO .....	56
6.9. SATURACIÓN DE BASES.....	58
6.10. BASES TOTALES .....	59
6.11. CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA.....	60
6.12. RELACIÓN Ca/Mg.....	61
6.13. RELACIÓN Mg/K .....	63
6.14. RELACIÓN Ca/K .....	64
6.15. RELACIÓN (Ca+Mg/K) .....	65
6.16. PORCENTAJE DE CARBONO ORGÁNICO.....	66
6.17. BIOACUMULACIÓN DE METALES PESADOS.....	67
6.17.1. Bioacumulación de Cadmio .....	68
6.17.2. Bioacumulación de Cromo .....	69
6.17.3. Bioacumulación de Níquel.....	70

CONCLUSIONES .....	73
RECOMENDACIONES .....	74
BIBLIOGRAFÍA .....	75
CIBERGRAFÍA.....	79
ANEXOS .....	80

## Lista de Tablas

Tabla 1. Métodos y Procesos para el tratamiento de biosólidos tipo A y Tipo B.....	20
Tabla 2. Marco normativo biosólido.....	20
Tabla 3. Concentración promedio de metales pesados en el Biosólido. ....	26
Tabla 4. Concentraciones químicas promedio en el biosólido de la Ptar El Salitre .....	26
Tabla 5. Concentraciones microbiológicas promedio en el Biosólido de la Ptar El Salitre .....	27
Tabla 6. Estadios fenológicos – Desarrollo v/s. Tiempo.....	30
Tabla 7. Los 20 mayores productores abarcan el 82% del total mundial (FAO 2010).....	31
Tabla 8. Cantidad en kg de suelo y biosólido para cada tratamiento.....	40
Tabla 9. Valores de las características químicas de las mezclas biosólido-suelo.....	44
Tabla 10. Concentración de metales pesados de todos los tratamientos en el grano de Cebada variedad Metcalfe ( <i>Hordeum vulgare L.</i> ).....	45
Tabla 11. Promedios de variables fenológicas evaluadas. ....	45
Tabla 12. Porcentaje de germinación de cada unidad experimental. ....	46
Tabla 13. Peso seco de cada unidad experimental.....	48
Tabla 14. Altura en (cm) de cada unidad experimental .....	50
Tabla 15. Producción en gr de cada unidad experimental.....	51
Tabla 16. Valores del porcentaje de acidez intercambiable de todos los tratamientos.....	53
Tabla 17. Valores de acidez intercambiable de todos los tratamientos.....	54
Tabla 18. Valores del porcentaje de capacidad de intercambio catiónico de todos los tratamientos .....	55
Tabla 19. Valores de la capacidad de intercambio catiónico del trabajo de Quinchia <i>et al</i> 2004 .....	56
Tabla 20. Valores del potencial de hidrogeno de todos los tratamientos.....	56
Tabla 21. Valores del potencial de hidrogeno del trabajo de Negrín y Jiménez 2012 .....	57
Tabla 22. Valores del porcentaje de saturación de bases de todos los tratamientos.....	58
Tabla 23. Valores de las bases (Ca, Mg, K, Na) de todos los tratamientos .....	59
Tabla 24. Valores de referencia de cationes de cambio (Ca, Mg, K, Na).....	60
Tabla 25. Valores de la conductividad eléctrica de todos los tratamientos.....	60
Tabla 26. Valores de la relación Ca/Mg de todos los tratamientos .....	61
Tabla 27. Niveles aceptables de calcio intercambiable.....	62

Tabla 28. Niveles aceptables de magnesio, potasio y sodio intercambiable .....	63
Tabla 29. Valores de la relación Mg/K de todos los tratamientos .....	63
Tabla 30. Valores de la relación Ca/K de todos los tratamientos .....	64
Tabla 31. Valores de la relación (Ca+Mg/K) de todos los tratamientos .....	65
Tabla 32. Valores de porcentaje de carbono orgánico de todos los tratamientos.....	66
Tabla 33. Bioacumulación de metales pesados en el grano de Cebada ( <i>Hordeum vulgare</i> ) (mg/kg).....	67

## Lista de Graficas

Gráfica 1. Porcentaje de germinacion % .....	47
Gráfica 2. Peso Seco en % .....	49
Gráfica 3. Altura en (cm) .....	51
Gráfica 4. Produccion en (gr).....	52
Gráfica 5. Saturación de acidez intercambiable (%) .....	53
Gráfica 6. Acidez intercambiable cmol/Kg.....	54
Gráfica 7. Capacidad de intercambio catiónico (meq/100gr) .....	55
Gráfica 8. Potencial de hidrógeno .....	57
Gráfica 9. Saturación de bases .....	58
Gráfica 10. Bases totales cmol/kg .....	59
Gráfica 11. Conductividad Elèctrica (dS/m).....	61
Gráfica 12. Relaciòn Ca/Mg .....	62
Gráfica 13. Relaciòn Mg/K cmol/kg .....	64
Gráfica 14. Relaciòn Ca/K cmol/kg .....	65
Gráfica 15. Relaciòn (Ca+Mg/K) cmol/kg .....	66
Gráfica 16. Porcentaje de carbono orgánico % .....	67
Gráfica 17. Acumulaciòn de Cadmio en los diferentes tratamientos .....	68
Gráfica 18. Acumulaciòn de Cromo (ppm) en los diferentes tratamientos .....	69
Gráfica 19. Acumulaciòn de Níquel (ppm) en los diferentes tratamientos .....	70
Gráfica 20. Acumulaciòn de Cobre (ppm) en los diferentes tratamientos.....	71
Gráfica 21. Acumulaciòn de Plomo (ppm) en los diferentes tratamientos .....	72

## Lista de Figuras

Figura 1. Esquema de tratamiento de lodos PTAR El Salitre. ....	22
Figura 2. Recepción de biosólido.....	23
Figura 3. Extensión y secado .....	23
Figura 4. Volteo periódico.....	24
Figura 5. Pasto Kikuyo ( <i>Penicetum clandestinum</i> ) sobre mezcla biosólido – suelo (Zona VII) y sobre 100% suelo (Zona I) .....	25
Figura 6. Muestra de biosólido deshidratado.....	25
Figura 7. Crecimiento y desarrollo de la Cebada.....	31
Figura 8. Ubicación de la PTAR El Salitre .....	39
Figura 9. Modelo estadístico .....	43
Figura 10. Anava y Tukey Porcentaje de Germinación .....	46
Figura 11. Anava y Tukey peso seco .....	48
Figura 12. Anava y Tukey altura de la planta.....	50
Figura 13. Anava y Tukey producción en gramos .....	52

## **Lista de Anexos**

Anexo 1. Resultados IGAC del análisis de suelo de los diferentes tratamientos .....	80
Anexo 2. Resultados de la concentración de metales pesados en los diferentes tratamientos .....	81
Anexo 3. Resultado concentración de metales pesados en un cultivo de Cebada (Hordeum vulgare) de tipo comercial .....	85

## RESUMEN

La presente investigación se realizó en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales El Salitre ubicada en la localidad de Suba de la ciudad de Bogotá Cundinamarca, donde se evaluó la respuesta fenológica del cultivo de Cebada (*Hordeum vulgare*), con la aplicación de biosólido clase B a diferentes concentraciones y se planteó un uso diferente para este subproducto del que se le da actualmente, ya que mensualmente se producen 3900 toneladas de este material. Se usó un diseño de bloques completos al azar, con cinco tratamientos y tres repeticiones, para un total de 15 parcelas experimentales las cuales contaron con un área de 1m\*1m\*020m (0.20 m<sup>3</sup>). Los tratamientos usados fueron: T1 (25% biosólido 75% suelo), T2 (50% biosólido 50% suelo), T3 (75% biosólido 25% suelo), T4 (100% suelo) y T5 (100% biosólido). Las variables evaluadas en el presente estudio fueron: altura (cms,) materia seca (%), producción (kg), germinación (%) y concentración de metales pesados (ppm); Además se estudiaron las características químicas de las mezclas biosólido-suelo con el fin de determinar qué porcentaje de biosólido incorporado al suelo es el más adecuado para el desarrollo del cultivo de Cebada (*Hordeum vulgare*).

Palabras Claves: Metal, química, potencial, fenológica.

## ABSTRACT

The present investigation was carried out in the El Salitre Wastewater Treatment Plant located in the town of Suba in the city of Bogotá Cundinamarca, where the phenological response of the cultivation of Barley (*Hordeum vulgare*) was evaluated, with the application of class B biosolids. at different concentrations and a different use was proposed for this by-product than is currently the case, since 3,100 tons of this material are produced monthly. A randomized complete block design was used, with five treatments and three repetitions, for a total of 15 experimental plots which had an area of 1m \* 1m \* 020m (0.20 m<sup>3</sup>). The treatments used were: T1 (25% biosolid 75% soil), T2 (50% biosolid 50% soil), T3 (75% biosolid 25% soil), T4 (100% soil) and T5 (100% biosolid). The variables evaluated in the present study were: height (cms,) dry matter (%), production (kg), germination (%) and concentration of heavy metals (ppm); In addition, the chemical characteristics of biosolids-soil mixtures were studied in order to determine what percentage of biosolids incorporated into the soil is most suitable for the development of the cultivation of Barley (*Hordeum vulgare*).

Key words: Metal, chemical, potential, phenological.

## 1. INTRODUCCIÓN

El aumento de la población en Bogotá D.C. hace necesario que se le practique un tratamiento ambiental a las aguas industriales y domésticas, por lo cual se construyó una planta de tratamiento de aguas residuales PTAR, con una tecnología que permite transformar los afluentes contaminantes en un compuesto llamado biosólidos. Bogotá D.C. cuenta con la PTAR El Salitre, ubicada en la localidad de Engativá, la cual diariamente produce entre 130 y 140 toneladas de biosólidos, usado para la recuperación de cobertura vegetal en el predio El Corzo, de Bosa.

Según Vélez (2006) el biosólido es un material biológico producto de la transformación de lodos orgánicos. Por su patogenicidad, su poder de fermentación y su capacidad de atracción de vectores es sometido a varios tratamientos para que pueda ser usado en la agricultura, en la recuperación de áreas degradadas o en el proceso de ceramización en el sector industrial.

Como no existen normativas distritales ni nacionales para la disposición y utilización agroecológica y de los biosólidos potencial y altamente contaminadores, los cuales acrecientan la problemática al ser acumulados en áreas urbanas rurales con la proliferación de vectores patógenos.

Al analizar el potencial del biosólido como enmienda orgánica en la agricultura, se encontró que contiene trazas de metales pesados como el cromo, cadmio, níquel, cobre, y plomo.

*Hordeum vulgare* es una monocotiledónea que tiene usos industriales y agrícolas. El 85% de la producción nacional es utilizada por la industria cervecera y maltera, el 10% por parte de los molinos de perlados y harinas para consumo humano y animal y un 5% se vende a los agricultores como semilla. (Fenalce 2009).

La Cebada ha sido tradicionalmente sembrada en los departamentos de Cundinamarca, Boyacá y Nariño en regiones con temperaturas que oscilan entre 11 y 18 grados centígrados y entre 2.200 y 2.800 m.s.n.m. las cuales son similares a las de la PTAR El Salitre. Siendo este un cultivo de importancia socioeconómica para el país, siendo necesario conocer nuevas alternativas de enmiendas que optimicen su desarrollo vegetativo y fisiológico (Fenalce 2009).

El presente trabajo pretende la caracterización físico-química del biosólido mediante el análisis de laboratorio certificado, de otra parte, preparar cinco sustratos de 25% suelo y 75% biosólido, 50% suelo y 50% biosólido, 75% suelo y 25% biosólido, 100% suelo y 100% biosólido. Por último, se analizó la trazabilidad de los metales pesados como cadmio, cromo, níquel, plomo y cobre en el grano de *Cebada (Hordeum vulgare)*

## 2. JUSTIFICACIÓN

Los biosólidos se han convertido en un problema ambiental ya que el volumen que se genera es un serio problema en las ciudades y su disposición apropiada no se ha logrado reglamentar y es apremiante buscar soluciones como lo es la utilización en el sector agrícola.

En la actualidad en el país se generan diariamente 274 toneladas de biosólidos (94 toneladas base seca). El 97% de la producción es generada por tres plantas (El Salitre, Cañaveralejo y San Fernando). Las cuales no cuentan con una utilización final apropiada, de otra parte no se han caracterizado los biosólidos lo cual es fundamental como alternativas de aprovechamiento. (Daguer 2005).

En Colombia el proceso de tratamiento de aguas residuales es relativamente reciente y sólo ciudades como Bogotá, Medellín, Cali y Bucaramanga lo realizan. Por lo anterior y encontrando que solo se han llevado a cabo algunos ensayos con cultivos agrícolas, que si bien es cierto han arrojado resultados preliminares e interesantes, carecen de soporte estadístico. (Zuluaga 2007)

Se hace necesario determinar el potencial del uso ambiental y agrícola de los biosólidos generados en la PTAR El Salitre, principalmente en el crecimiento, desarrollo y producción del cultivo de *Cebada* (*Hordeum vulgare*), investigando los riesgos que se pueden presentar en los cultivos y en la salud pública por el contenido de metales pesados y su uso como fuente de materia orgánica y nutrientes.

### 3. OBJETIVOS

#### 3.1.OBJETIVO GENERAL

- Determinar el efecto del uso de biosólido clase B como enmienda orgánica en el cultivo de Cebada (*Hordeum vulgare*) en la planta de tratamiento de aguas residuales “El Salitre” Engativá Bogotá.

#### 3.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar el potencial químico del biosólido clase B como sustrato para su uso en la agricultura
- Estudiar el comportamiento agronómico de *Cebada (Hordeum vulgare)* en relación con el uso del biosólido clase B.
- Determinar la concentración de metales pesados en el grano de *Cebada (Hordeum vulgare)* cultivado con diferentes sustratos preparados con biosólido clase B.

## 4. REVISIÓN LITERARIA

### 4.1. CARACTERIZACIÓN DEL BIOSÓLIDO

Los biosólidos son generados debido al tratamiento de aguas residuales. Según la EPA son “residuos sólidos, semisólidos o líquidos. Dicho material posee sólidos los cuales son removidos durante el tratamiento primario. (EPA, 1994).

Los colorantes, plastificantes, agentes tenso activos y muchas otras moléculas industriales son fácilmente acumulables en los lodos, creando problema ambiental por sus valores mínimos de degradación.

Los agentes patógenos de orden biológico como virus, protozoos, bacterias, parásitos gastrointestinales (nematodos, céstodos y trematodos.) son las especies más importantes que se han encontrado en los lodos. (Vélez Z 2007).

### 4.2. CLASES DE BIOSÓLIDO

- **Biosólido clase A:** Es un material sin restricciones sanitarias para aplicación a suelo. Según la EPA son biosólidos de calidad excepcional, ya que son poco contaminantes y tienen reducción de patógenos. La EPA también señala que aún no se ha estudiado a fondo su uso en la agricultura y que no se conoce con certeza los efectos nocivos que estos puedan causar.
- **Biosólido Clase B:** Material apto para aplicación al suelo, con restricciones sanitarias de aplicación según tipo y localización de los suelos o cultivos. Según la EPA este biosólido también posee niveles bajos de concentración de contaminantes, aunque El sitio de aplicación no debe estar cercano a fuentes de aguas superficiales o subterráneas y se debe aplicar en épocas secas (EPA, 2003).

Finalmente, es importante resaltar los estudios realizados durante 20 años en la Universidad de Arizona, quienes concluyeron la sostenibilidad edáfica por la aplicación al suelo de biosólidos Clase B. La diversidad microbiana del suelo no se ve afectada, pero se aumentan sus micronutrientes y el incremento de metales pesados es muy bajo. Los estudios realizados en suelos áridos, si bien muestran los beneficios de la aplicación, recomiendan evaluar estas variables en otros tipos de suelo (Pepper et al., 2008).

Entre los procesos utilizados para minimizar los biosólidos clase A y B se utiliza la estabilización con cal. La cual reduce el pH eliminando o minimizando a niveles permitidos para la salud, y lo importante es que no se degrada la materia orgánica.

**Tabla 1. Métodos y Procesos para el tratamiento de biosólidos tipo A y Tipo B**

<b>MÉTODOS Y PROCESOS</b>		
<b>FÍSICOS</b>		<b>QUÍMICOS</b>
<b>Espesamiento</b>	<b>Desaguado</b>	
Decantación Centrifugación Flotación	Filtración Prensado Secado Extracción Evaporación	Acondicionamiento Neutralización Oxido- reducción Prensado Estabilización Solidificación

Fuente del autor basado y adaptado de NOSTRAND, V. 1990

### 4.3.LEGISLACIÓN BIOSÓLIDO

**Tabla 2. Marco normativo biosólido**

<p><b>ANTECEDENTES REGLAMENTARIOS EN COLOMBIA EL RAS 98 (1998) RAS 2000 (2000)</b></p>	<p>La herramienta normativa más reciente de corte técnico, para el sector de agua potable y saneamiento básico es el Reglamento Técnico del Agua Potable y saneamiento Básico, en sus versiones 1998 (o RAS 98) y 2000 (o RAS 2000). Sin embargo, ninguna de estas dos versiones ha desarrollado el tema de la disposición de los lodos de tratamiento, entre ellos los biosólidos.</p>
<p><b>RAS 98</b></p>	<p>Este Reglamento tiene por objeto señalar los requisitos técnicos que deben cumplir las obras y procedimientos propios del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico y sus actividades complementarias, señaladas en el artículo 14, numerales 14.19, 14.22, 14.23 y 14.24 de la Ley 142 de 1994. En él se determinan los requisitos técnicos mínimos que deben cumplir las obras y procedimientos que se utilicen para adelantar las actividades básicas y complementarias a la prestación de los servicios públicos domiciliarios de agua potable y saneamiento básico. En el capítulo E.1 del RAS 98 se tratan los aspectos generales de los sistemas de tratamiento de aguas residuales, desde la conceptualización hasta su operación y puesta en marcha. Sin embargo, sobre la gestión de subproductos de tratamiento, en particular sobre biosólidos lo único que existe es una definición del término “ Lodo biológico”, entendido como “Lodo excedente que se genera en los procesos biológicos de las aguas residuales”</p>

<p style="text-align: center;"><b>RAS 2000</b></p>	<p>En la siguiente actualización del RAS, del año 2000, se insertó un texto sobre el término biosólido de la siguiente manera: “En la medida que las plantas de tratamiento entran en funcionamiento, la generación de los lodos es inevitable y su gestión demanda el establecimiento de estrategias que permitan dar un uso racional a dichos residuos, de tal manera que se logre no sólo el fin propuesto de descontaminar el agua sino también colmar las expectativas de la comunidad en cuanto a un manejo integral del problema.</p>
<p style="text-align: center;"><b>Decreto 1287 10 de Julio 2014</b></p>	<p>Diario Oficial No. 49.208 de 10 de julio de 2014. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. <i>Por el cual se establecen criterios para el uso de los biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales.</i> Que los artículos 79 y 80 de la Constitución Política consagran el derecho colectivo a gozar de un ambiente sano y el deber del Estado de proteger la diversidad e integridad del ambiente. WEF. WATER ENVIRONMENT FOUNDATION. Biosolids fact. Sheets. USA, 1998. 1 CDROM. Que el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, como responsable de la formulación de políticas de agua y saneamiento básico, viene promoviendo el incremento en los niveles de tratamiento de los vertimientos de los sistemas de alcantarillado municipales, lo que ha originado que en el país se haya aumentado la construcción de sistemas de tratamiento de aguas residuales municipales.</p> <p>Que el tratamiento de aguas residuales municipales combina una serie de procesos de tipo físico, químico y biológico, considerados tratamientos primarios y secundarios en su mayoría, cuyo resultado es la producción de residuos o subproductos llamados lodos, los cuales deben ser sometidos a procesos de estabilización para reducir la carga contaminante, y al final se obtiene un producto denominado “biosólidos’.</p> <p>Que estos biosólidos poseen características físicas, químicas y microbiológicas que deben ser evaluadas para determinar sus posibles usos o una adecuada disposición final.</p> <p>Que por estas razones es necesario establecer criterios para el uso de los biosólidos resultantes del tratamiento de aguas residuales municipales. Que en mérito de lo expuesto,</p> <p>DECRETA: Artículo 1°. <i>Objeto.</i> El presente decreto tiene por objeto establecer los criterios para el uso de los biosólidos producidos a partir de los lodos generados en las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales.</p>

Fuente: 1. Diario Oficial No. 49.208 de 10 de julio de 2014. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio.

#### 4.4.PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE BIOSÓLIDOS

En la figura 1 se presenta esquemáticamente el proceso de la PTAR El Salitre, en donde tratan aguas residuales para la obtención de lodos a partir de los cuales se obtiene un producto estabilizado y deshidratado.

Desde el inicio de la operación de la PTAR El Salitre, y hasta el mes de Junio de 2007, el biosólido generado fue aprovechado como abono en la cobertura de las celdas clausuradas del Relleno Sanitario Doña Juana, mejorando el crecimiento, desarrollo y resistencia del pasto cultivado. Actualmente, el biosólido se utiliza en la conformación de la cobertura vegetal del Predio El Corzo, en donde se requieren iniciar las actividades de cierre y clausura.

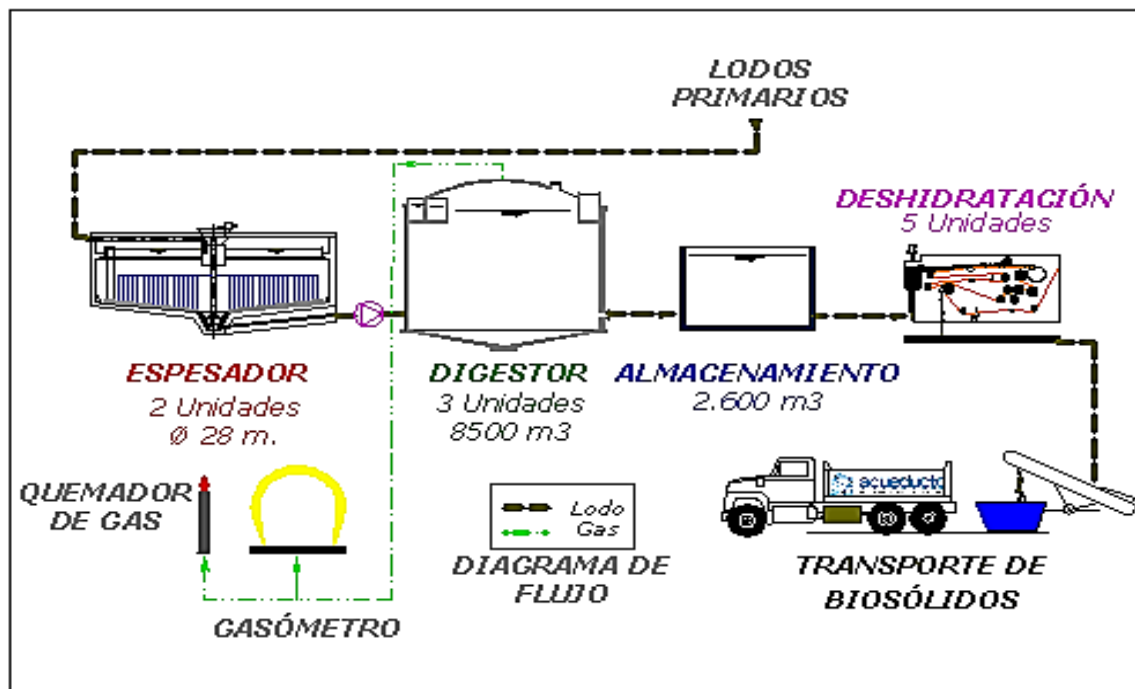


Figura 1. Esquema de tratamiento de lodos PTAR El Salitre.

Fuente: Gestión Ambiental PTAR El Salitre.

#### 4.5.APROVECHAMIENTO DEL BIOSÓLIDO EN COBERTURA DE SUELOS

Las actividades de cobertura se realizan con una mezcla biosólido-suelo en proporciones iguales, para lo cual se cuenta con una zona de manejo, en la que se recibe el biosólido, se extiende, y se seca atmosféricamente, antes de realizar la mezcla con suelo.

- **Recepción del material:** En esta primera etapa se recibe el biosólido de la PTAR El Salitre.



**Figura 2. Recepción de biosólido**

Fuente: Gestión Ambiental PTAR El Salitre.

- **Extensión y secado:** Con el fin de disminuir el volumen del biosólido, se extiende y seca atmosféricamente en módulos de secado, lo cual permite mejorar la calidad microbiológica del biosólido y reducir la generación de olores.



**Figura 3. Extensión y secado**

Fuente: Gestión Ambiental PTAR El Salitre.

- **Volteo periódico:** garantizará que el material se seque de manera homogénea.



**Figura 4. Volteo periódico**

Fuente: Gestión Ambiental PTAR El Salitre.

- **Mezcla con suelo:** Luego de cumplido el tiempo de secado, el biosólido se lleva a la zona que requiere de cobertura, en donde se mezcla en proporción 1:1 con el suelo.
- **Aprovechamiento de la mezcla:** La mezcla biosólido – suelo es aprovechada en las zonas clausuradas aportando la cobertura vegetal.

#### **4.6.CALIDAD DE LA VEGETACIÓN DESARROLLADA SOBRE LA MEZCLA SUELO – BIOSÓLIDO**

Según Arriero 2008 al usar el biosólido en el relleno Sanitario Doña Juana, se revegetaron 46 Has y se observó un mejoramiento considerable en el desarrollo vegetal del Pasto Kikuyo (*Penicetum clandestinum*) en las zonas abonadas con la mezcla biosólido-suelo; además presento mayor capacidad de resistencia a las heladas, debido al alto contenido de materia orgánica, nutrientes (Nitrógeno y Fósforo) y humedad del 70%. Igualmente mejora las características físico-químicas del suelo como son: CIC, CE, MO, SB, AI y pH.



**Figura 5. Pasto Kikuyo (*Penicetum clandestinum*) sobre mezcla biosólido – suelo (Zona VII) y sobre 100% suelo (Zona I)**  
Fuente: Gestión Ambiental PTAR El Salitre.



**Figura 6. Muestra de biosólido deshidratado**  
Fuente: Gestión Ambiental PTAR El Salitre.

En la tabla 3. Se muestra la concentración promedio de metales pesados permitidos por la EPA y el promedio de la concentración de metales pesados del biosólido proveniente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales el Salitre, desde septiembre de 2000 hasta mayo de 2007

**Tabla 3. Concentración promedio de metales pesados en el Biosólido.**

<b>PARÁMETRO</b>	<b>PROMEDIO (PPM BASE SECA) PTAR</b>	<b>BIOSÓLIDO EXCELENTE CALIDAD (PPM BASE SECA) EPA</b>
Arsénico	4,9	41
Cadmio	6,3	39
Cobre	158,6	1500
Cromo	92,2	No se regula
Mercurio	3,7	17
Níquel	45,1	420
Plomo	97,5	300
Selenio	7,1	100
Zinc	1015,6	2800

Fuente: Ptar El Salitre y EPA

En muestras mensuales, como se muestra en la tabla 4, y la tabla 5 La PTAR El Salitre reporto los siguientes parámetros químicos y microbiológicos: Nitrógeno total, Nitrógeno amoniacal, Nitritos, Nitratos, Fósforo total, pH, Sólidos totales y Sólidos volátiles, Doliformes fecales y Salmonella (indicador de bacterias), Fagos somáticos (indicador de virus) y Huevos de helminto viables (indicador de parásitos).

**Tabla 4. Concentraciones químicas promedio en el biosólido de la Ptar El Salitre**

<b>PARÁMETRO</b>	<b>PROMEDIO* (MG/KG BASE SECA)</b>
Nitrógeno total	26823,7
Nitrógeno amoniacal	4457,7
Nitratos	216,2
Nitritos	2,6

Fósforo	24470,6
pH	7,7
Sólidos totales	325365,0
Sólidos volátiles	158564,6

Fuente. Ptar El Salitre. Datos Sep. 2000 Mayo 2007

**Tabla 5. Concentraciones microbiológicas promedio en el Biosólido de la Ptar El Salitre**

PARÁMETRO	PROMEDIO*
Coliformes fecales (UFC/g Base Seca)	6,88E+05
Fagos somáticos (PFP/4g Base Seca)	2,43E+06
HH totales (huevos/4g Base Seca)	5,86
HH viables (huevos/4g Base Seca)	7,52
Salmonella (NMP/4g Base Seca)	0,80

Fuente. Ptar El Salitre. Datos Ago. 2005- Abril 2007

#### **4.7. CARACTERIZACIÓN AGRONÓMICA DE CEBADA (HORDEUM VULGARE)**

##### **4.7.1. Origen**

Este cultivo tuvo su origen en dos centros de origen situados en el sudeste de Asia y África. Fue una de las primeras plantas domesticadas, para la agricultura. El *Hordeum vulgare* descende de la Cebada silvestre *Hordeum spontaneum*, la cual crece en el Oriente Medio. En el antiguo Egipto se cultivaba la Cebada y fue importante para su desarrollo (Molina, 1989).

##### **4.7.2. Taxonomía**

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Liliopsida

Orden: Poales

Familia: Poaceae

Subfamilia: Pooideae

Tribu: Triticeae

Género: Hordeum

Especie: H. vulgare

(Parzons, D. 1994)

### 4.7.3. Morfología

- **Raíz:** El sistema radicular es fasciculado, fibroso y alcanza poca profundidad. Un 60% del peso de las raíces se encuentra en los primeros 25 cm del suelo y las raíces alcanzan 1,20 m. de profundidad. (CIMMYT. 2007)
- **Tallo:** Janez, G. 2002, describe el tallo como erecto, grueso, formado por unos seis u ocho entrenudos, los cuales son más anchos en la parte central que en los extremos junto a los nudos, y que la altura de los tallos depende de las variedades y oscila entre 0.50 m. a 1 metro.
- **Hojas:** Según Gispert, c. 1998, "la Cebada es una planta de hojas estrechas y color verde claro. En el punto en que el limbo se separa del tallo, al terminar la zona envainadora de la hoja se desarrollan las estípulas que se entrecruzan por delante del tallo, y una corta lígula dentada aplicada contra este".
- **Inflorescencias:** Es una espiga compuesta, formada de otras espigas denominadas espiguillas, arregladas en forma alterna en el raquis. Cada flor cuenta con una estructura pilosa llamada raquila, protegida por glumas pilosas denominada lema y palea, que protegen la flor y permanecen en el fruto hasta después de la maduración; además, en cada flor se distinguen dos partes, los órganos sexuales y unas pequeñas estructuras insertadas en la base del ovario llamadas lodículos (Ospina, j. 2004).
- **Grano:** Formado por la semilla, que con el pericarpio, la lema y la palea forman la cáscara, en una sola semilla integradas en una cariósipide. La semilla posee dos partes el embrión y el endospermo, el cual tiene dos capas; una harinosa y otra Proteica. (González, C. 2002)

### 4.7.4. Requerimientos edafoclimáticos del cultivo

- **Clima:** El *Cebada* (*Hordeum vulgare*) requiere menos unidades de calor para alcanzar la madurez fisiológica, por ello alcanza altas latitudes y altitudes. La altitud óptima para el cultivo de Cebada oscila entre 1.800 m. y 3.000 m., ya que es uno de los cereales, que mejor se adapta a las latitudes más elevadas (FENALCE 2009)
- **Temperatura:** Para germinar requiere una temperatura mínima de 6°C. Florece a los 16°C y madura a los 20°C. Es tolerante a las bajas temperaturas, ya que puede llegar a soportar hasta -10°C. En climas donde las heladas invernales son muy fuertes. (FENALCE 2009).

- **Suelo:** La Cebada posee mayor adaptación en tierras fértiles, pero puede tener buenas producciones en suelos poco profundos y pedregosos, siendo el agua un factor importante al comienzo de su desarrollo. No tolera los terrenos demasiado arcillosos, ni el exceso de salinidad en el suelo. Los terrenos compactos dificultan la germinación y las primeras etapas del crecimiento de la planta. (FENALCE 2009). Los suelos arcillosos, húmedos y encharcados, son desfavorables para la Cebada, aunque en ellos se pueden obtener altos rendimientos si se realiza un buen laboreo y se conserva la humedad del suelo (FENALCE 2009).

#### 4.7.5. Estadios fenológicos de Cebada (*Hordeum vulgare*)

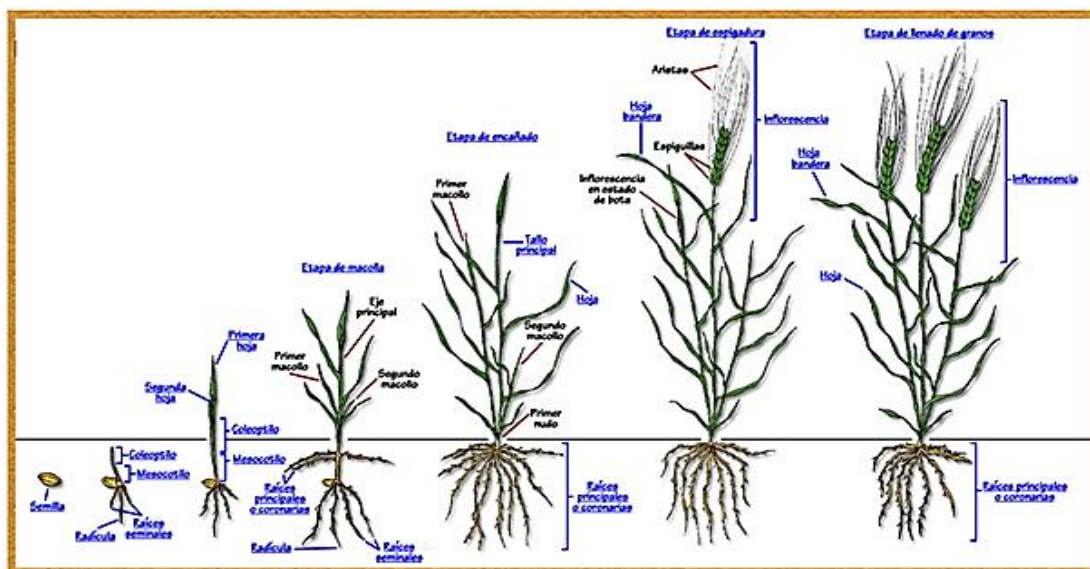
- **Germinación:** La germinación inicia después de la hidratación de las semillas, se desarrolla el Coleóptilo y la Coleriza, a temperatura mínima de 3° a 4° c, siendo las temperatura óptimas a los 20° c y la máxima entre 28° a 30° c. Contreras *et al.* (1972).
- **Macolla:** Las macollas se derivan de las yemas axilares del primer tallo, pueden ser dos a nueve, dependiendo de la densidad de siembra y disponibilidad de agua y nutrientes. Las macollas son de suma importancia ya que el número y vigor de éstas determinará un porcentaje significativo en el número de espigas verdaderas. Contreras *et al.* (1972).
- **Espigadura:** Es una etapa posterior a la emergencia de las aristas, de uno a dos días después, teniendo en cuenta el genotipo. La espigadura termina al quedar expuesto el collar de la espiga. Contreras *et al.* (1972).
- **Floración:** Comienza con la aparición del primer estambre, días después de la espigadura. La apertura de las flores inicia en el segundo tercio de la espiga empezando por la espiguilla central y posteriormente las laterales y continua hacia arriba y hacia abajo. La floración se completa en dos días. Contreras *et al.* (1972).
- **Formación del grano:** Se produce después de la polinización. El crecimiento del grano dentro de la flor es muy rápido en longitud, terminando el séptimo día y comenzando a aumentar la materia seca. A las dos semanas comienza el estadio de grano pastoso, es coincidente con el máximo contenido de agua del grano y el fin del aumento de materia seca. La patea empieza a amarillear a partir del centro de su parte dorsal. El llenado del grano depende del suministro de carbohidratos y citoquininas. Al final de esta expansión las células acumularán carbohidratos y proteínas. El llenado del grano en la Cebada se completa en 30 días después de la anthesis. Contreras *et al.* (1972).

- **Madurez:** La pérdida de agua se asocia al aumento de ácido abscísico en el endosperma, aumentando la permeabilidad del pericarpio, provocando la deshidratación del grano. La madurez fisiológica es cuando el grano llega a un 40% de humedad. La madurez de campo se produce cuando el grano se seca, se encoge y se vuelve duro. Contreras *et al.* (1972).
- **Senescencia:** La madurez es total, cuando se seca el último entrenudo, los granos son muy duros y muere la planta. Se puede iniciar la cosecha, con granos bajo 13% de humedad. Contreras *et al.* (1972). En la tabla 6. Se aprecian los estadios fenológicos de *Cebada (Hordeum vulgare)*.

**Tabla 6. Estadios fenológicos – Desarrollo v/s. Tiempo**

ESTADO FENOLOGICO	TIEMPO
Siembra a emergencia	0 A 10 D
Emergencia a inicio de macolla	11 A 30 D
Inicio de macolla a fin de macolla	31 A 45 D
Fin de macolla a inicio de encañado	46 A 60 D
Inicio de encañado a espigadura	61 A 75 D
Espigadura	76 A 80 D
Formación de semillas	81 A 110 D
Madurez	111 A 140 D

Tomado de (Agroinversiones).



**Figura 7. Crecimiento y desarrollo de la Cebada**

Fuente: (Falguenbaum, H. Mouat, P).

#### 4.7.6. Producción a nivel mundial

Según la FAO la producción mundial de Cebada en 2010 alcanzó 123,5 millones de toneladas.

**Tabla 7. Los 20 mayores productores abarcan el 82% del total mundial (FAO 2010).**

PUESTO	PAIS	CANTIDAD (tns)
1	ALEMANIA	10.412.100
2	FRANCIA	10.102.000
3	UCRANIA	8.484.900
4	RUSIA	8.350.020
5	ESPAÑA	8.156.500

Fuente: FAO 2010

#### 4.7.7. Producción nacional

Según Martha Carreño, directora del Departamento de Estudios Agroeconómicos de la Sociedad de Agricultores de Colombia (SAC) “La producción nacional es realmente baja. Para 2010 se tienen datos estimados de 6.070 toneladas, e importamos, principalmente de Canadá, cerca de medio millón de tns.

Según (FENALCE) Las necesidades actuales de la Industria Maltera y Cervecera están por el orden de 250.000 toneladas de Cebada con características malteras, las cuales se importan principalmente de Argentina y Canadá. De las cuales el 95,8% se importaron.

#### 4.7.8. Plagas

- **Nematodos:** (*Heterodera avenae*) (Molina, 1989).
- **Pulgonos:** (*Rhopalosiphum padi*, *sitobionavenae*, *Schizaphis graminum*) producen importantes daños en la Cebada, principalmente *Rhopalosiphum padi* que es el transmisor del Virus del Enanismo Amarillo (BYDV) (Molina, 1989).
- **Coleópteros:** *Lema melanopa* se alimenta del parénquima de las hojas de la Cebada produciendo aparentes pérdidas de masa fotosintética; sin embargo, su escasa incidencia sobre el rendimiento no justificaría tratamientos insecticidas. (Molina, 1989).

#### 4.7.9. Enfermedades

- **Carbón cubierto:** Esta enfermedad es causada por el hongo denominado *Ustilago bordei*. La presencia de la enfermedad se empieza a notar durante la florescencia cuando las espigas carbonosas salen de la hoja bandera. En lugar de granos se ven masas duras y negras de esporos de carbón cubiertos con una membrana grisácea (Rico. M. E. 2007).
- **Carbón semi-descubierto:** Es diferente al carbón volador y el organismo que lo causa se denomina *Ustilago nigra*. La enfermedad se observa también en el período de la florescencia cuando aparecen las espigas oscuras y carbonosas. (Rico. M. E. 2007).
- **Carbón volador:** Causado por el hongo *Ustilago nuda*. Se parece mucho al carbón semi-descubierto en la clase de daño que causa a la planta, en la apariencia de las espigas carbonosas y en la diseminación de sus esporas durante la florescencia de las plantas sanas (Rico. M. E. 2007).
- **Manchas de la hoja:** Causado por el hongo *Helminthosporium*. Hay tres organismos que causan manchas en la hoja de la Cebada y cuya historia de vida ofrece mucha similitud. Tales organismos dan lugar a otras tantas enfermedades cuyos nombres son: Enfermedad de las rayas o manchas listadas causada por el hongo *Helminthosporium gramineum*. Enfermedad de la mancha punteada causada por el *H. sativum*, y la enfermedad de la mancha reticular causada por el *H. teres*. Las tres enfermedades pueden originarse en la semilla infectada, la cual da origen a plantas atacadas, en cuyas hojas se forman estructuras de los patógenos que a su vez van a infectar, como consecuencia del transporte de esporas por el viento, a otras plantas sanas (Rico. M. E. 2007).

- **Escaldado:** Esta enfermedad es causada por el hongo patógeno denominado *Rhynchosporium secalis*, y puede atacar el centeno y otras gramíneas. El escaldado aparece en forma de manchas ovales o 'lenticulares', de consistencia húmeda y de un color verde grisáceo en un principio. Más tarde las manchas muestran una zona central pálida o blancuzca, rodeada de anillos irregulares de tejido de color café. La enfermedad es diseminada durante el desarrollo de la Cebada por esporas producidas en las hojas enfermas (Rico. M. E. 2007).
- **Cornezuelo:** Esta enfermedad es causada por el hongo *Claviceps purpurea*. Ataca la Cebada y otros cereales, así como a muchos pastos cultivados y silvestres. Usualmente es más grave en el centeno que en la Cebada. Esta enfermedad es bastante conocida en el Departamento de Nariño, y en las cercanías de Pasto y de Yaguanquer se la denomina Chagracama. (Rico. M. E. 2007).
- **Anublo o tizón:** Causado por los hongos *Giberella* y *Fusarium*. Ataca el grano en formación así como las otras partes de la espiga. El área enferma se torna de color café pálido y los granos de espigas atacadas son grisáceos o pardos y de peso liviano. (Rico. M. E. 2007).
- **Roya o polvillo el tallo:** Causada por el hongo *Puccinia graminis*. La enfermedad ataca también el trigo y el centeno. El disturbio se reconoce por pústulas de color de herrumbre que irrumpen a través de la epidermis de los tallos, hojas, vainas y a menudo de las aristas. (Rico. M. E. 2007).
- **Roya de la hoja:** Causada por el hongo *Puccinia hordei*. Esta enfermedad reviste en general poca importancia. Aparece en forma de pústulas pequeñas, redondeadas y de un color amarillo parduzco sobre las hojas y vainas de la planta. El hongo puede permanecer en los residuos de la cosecha y ataca la nueva plantación para proseguir el ciclo. (Rico. M. E. 2007).
- **Enanismo amarillo:** Enfermedad causada por un virus. El virus produce un amarillamiento de las hojas y una reducción, moderada a severa, del tamaño de la planta. (Rico. M. E. 2007).
- **Cenicilla o mildew polvoso:** Esta enfermedad es causada por el hongo *Erysiphe graminis hordei*. Es muy frecuente en tiempo húmedo, en siembras densas y cuando el follaje es aún tierno y fresco. Las primeras indicaciones de la infección son pequeñas manchas blancas o ligeramente grisáceas formadas por filamentos algodonosos y colocados principalmente sobre la cara superior de las hojas (Rico. M. E. 2007).

#### 4.7.10. Manejo agronómico del cultivo de Cebada (*Hordeum vulgare*)

- **Preparación del terreno**

Se debe verificar que no existan limitaciones de tipo físico o químico para las raíces. La preparación del suelo debe incluir el uso de arado de cincel y de rastrillo. El número de pases dependerá del criterio del técnico, lo importante es que el suelo quede bien adecuado para que el surcado se realice sin limitación alguna. (FENALCE 2009)

- **Fertilización**

Los fertilizantes recomendados en el análisis de suelos se aplicaran antes de la última rastrillada, incorporando una mezcla de 200 Kg/ha de 15-15-15 y de 50 Kg/ha de Urea. Por las necesidades nutricionales del cultivo, al inicio del macollamiento, se aplicaran 100 Kg/ha de úrea, cantidad calibrada en un recipiente y aplicada en banda, al suelo húmedo (FENALCE 2009).

- **Siembra**

La semilla está contenida en una bolsa de papel y su cantidad viene calibrada para cada surco, se deben distribuir las bolsas en cada surco. Una vez distribuidas las bolsas, se abren y su contenido se distribuye uniformemente a lo largo del surco. Una vez depositada toda la semilla, se procede a tapar con un rastrillo de mano y en la medida en que se realiza esta labor, el operario debe pisar el surco para mejorar el contacto de la semilla con el suelo (FENALCE 2009).

- **Riegos**

En épocas de sequía programar los riegos, de tal manera que el proceso de germinación y establecimiento del cultivo se realicen de manera normal. De igual manera, si predomina el invierno, se deben hacer los drenajes necesarios que garanticen que el cultivo no sea afectado por lluvias excesivas. Ante eventos desastrosos, las medidas de adecuación no garantizarán que el cultivo no pueda verse afectado (FENALCE 2009).

- **Control de arvenses**

Para el control de malezas de hoja ancha existe en el mercado una amplia gama de productos. Teniendo en cuenta que para su aplicación, el suelo debe estar con una humedad cercana a capacidad de campo. En cualquiera de los casos en que se vaya aplicar herbicidas, si se necesita un volumen de agua mayor al enunciado anteriormente, el técnico deberá hacer los ajustes necesarios y dirigir la aplicación (FENALCE 2009).

- **Manejo de enfermedades**

Teniendo en cuenta el manual de manejo de enfermedades, una vez identificado plenamente el agente causal, se debe evaluar el nivel de daño y una vez determinado, se

debe seleccionar el fungicida más adecuado para su control. Las cantidades de los fungicidas están dadas dependiendo del área del cultivo (FENALCE 2009).

- **Manejo de plagas**

Una vez identificado el insecto causante del problema y su nivel de daño, se recomendará el control más adecuado desde el punto de vista técnico, económico y ambiental (FENALCE 2009).

- **Cosecha y pos cosecha**

Una vez el grano haya alcanzado su maduración de campo (Humedad del 18% al 22%), se debe realizar la recolección. Las espigas cosechadas se empaquetarán en un costal de tela a continuación son trilladas con el equipo adecuado. Una vez hecho el proceso anterior se inicia con el acondicionamiento del grano, secamiento y limpieza (FENALCE 2009).

## **4.8. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DEL SUELO**

### **4.8.1. Saturación de acidez intercambiable**

Según Molina E. 1998 “La saturación de acidez es una medida del porcentaje del complejo de intercambio catiónico que está ocupado por Al e H. El valor del porcentaje de saturación de aluminio o acidez intercambiable es el mejor criterio para diagnosticar problemas de acidez”. Casi ningún cultivo soporta más de 60% de saturación de acidez y el valor deseable para la mayoría de las plantas oscila entre 10 y 25%.

### **4.8.2. Acidez intercambiable**

Según Fassbender 1975 la acidez intercambiable está formada por  $Al^{+3} + H^{+}$  en diferentes proporciones. En el suelo es el resultado de la presencia de hidrógeno ( $H^{+}$ ) y Aluminio ( $Al^{+3}$ ) los cuales provocan una disminución del pH. La alta concentración de  $Al^{+3}$  genera toxicidad para las plantas, y genera un efecto negativo sobre las propiedades químicas y físicas del suelo como solubilización, disponibilidad y absorción de nutrimentos, estructura y estabilidad de agregados, lo cual afecta en forma negativa el crecimiento del cultivo.

### **4.8.3. Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)**

Es la carga eléctrica de las arcillas y materia orgánica del suelo, ésta puede ser permanente o dependiente del pH, se expresa en  $cmol.kg^{-1}$  de suelo. La carga que depende del pH ocurre por rupturas en la periferia de los cristales de los minerales. Suelos muy ácidos, pueden presentar baja fertilidad (Arévalo y Gauggel 2008).

#### **4.8.4. Potencial de hidrogeno**

Potencial de hidrógeno (pH) es el grado de acidez o basicidad de la solución suelo, expresado en el negativo del logaritmo decimal de la actividad del ion hidronio. (Harris, 2003)

#### **4.8.5. Bases totales**

Las bases totales se determinan mediante la sumatoria de los meq/100g de los cationes de cambio principales, los cuales son: calcio, magnesio, potasio y sodio. Se puede alcanzar el máximo rendimiento de un suelo, si el complejo de cambio (arcilla y materia orgánica humificada principalmente, también llamado complejo arcillo-húmico) de este existe una adecuada proporción de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{K}^{2+}$  (Eckert 1987)

#### **4.8.6. Calcio (Ca)**

Es el quinto elemento más abundante en la corteza terrestre, con una concentración promedia que llega a representar cerca de 3,6% (Barber, 1995). Este procede principalmente de las rocas y los minerales que conforman el suelo; por lo tanto, su contenido puede variar ampliamente dependiendo del material de origen; en suelos considerados no alcalinos solo representa entre 0,1 y 0,2%, mientras que en los alcalinos alcanza el 25% (Havlin et al., 1999). Barber (1995) sostiene que el contenido de  $\text{Ca}^{2+}$  depende del material parental, el grado de meteorización y la aplicación de enmiendas.

#### **4.8.7. Magnesio (Mg)**

Es el octavo elemento más común en la litosfera, con una concentración promedia cercana a 2,1%. Pese a lo anterior, y como consecuencia de la meteorización de minerales de Mg relativamente solubles, su concentración en los suelos es de tan solo 0,5%, hecho que indica una pérdida de éste representada en  $\frac{3}{4}$  partes del total (Barber, 1995). Dados los diferentes grados de meteorización y materiales parentales, los contenidos de  $\text{Mg}^{2+}$  varían enormemente (Barber, 1995). En este sentido Havlin et al. (1999) reportan valores bajos (0,1%) para suelos de textura gruesa en regiones húmedas, y valores altos (4%) para suelos con texturas finas y zonas áridas o semiáridas formados a partir de materiales parentales ricos en  $\text{Mg}^{2+}$ .

#### **4.8.8. Potasio**

La litosfera contiene en promedio 1,9% de este elemento. La concentración de K en el suelo (1,2%), es inferior a la de la litosfera, como consecuencia de su meteorización; en este sentido, los suelos jóvenes y poco meteorizados, tienen altos niveles de  $\text{K}^{+}$ . Los suelos orgánicos son pobres en su contenido (menor de 0,03%), dado su bajo nivel de minerales (Barber, 1995). La mayor parte de K de la corteza terrestre se encuentra unido a minerales primarios o está presente en las arcillas secundarias que conforman ampliamente la fracción arcillosa. Los suelos arenosos muy meteorizados contrastan marcadamente con los suelos jóvenes derivados de materiales

volcánicos, en los que los contenidos de arcilla y de K son generalmente altos (Mengel y Kirkby, 2000).

#### **4.8.9. Sodio**

La química del sodio es muy similar a la del potasio pero su comportamiento en el suelo es algo diferente. Los iones sodio, una vez liberados en la solución del suelo, no experimentan fijación de ninguna clase y son retenidos por los puntos de intercambio catiónico con menor fuerza que los de potasio, magnesio o calcio. En consecuencia, el sodio es el catión básico que se lava del suelo con mayor facilidad. Esto explica que el contenido de sodio en los suelos disminuye gradualmente con el tiempo, mientras que el potasio permanece casi constante. Gran parte del sodio, eventualmente, alcanza los océanos, donde el cloruro sódico es la sal más abundante. A veces, las sales de sodio se concentran en suelos de regiones áridas debido a la falta de lavado. Esta circunstancia puede conducir a la formación de suelos sódicos.

#### **4.8.10. Conductividad eléctrica**

La conductividad eléctrica (CE) es la capacidad de los iones de la solución suelo de conducir la electricidad. Los iones en solución son los que están disponibles o son asimilables para las plantas. En esta solución se pueden encontrar distintos metales, aniones y coloides; estos últimos debido a las propiedades eléctricas de las arcillas, las cuales presentan interacciones electrostáticas en la superficie. Un suelo salino posee una conductividad eléctrica mayor a 4 dS/m en la pasta saturada y mayor a 2 dS/m en el extracto de saturación. (Cobertera, 1993; Zavaleta, 1992; Hazelton y Murphy, 2007).

#### **4.8.11. El intercambio catiónico y su relación con la disponibilidad de Ca, Mg y K**

Gracias a su carga negativa, la fracción coloidal de la fase sólida del suelo, constituida principalmente por las arcillas finas y la materia orgánica, es el mayor reservorio de Ca, Mg y K para las plantas. De esta manera; estos cationes y otros elementos con cargas positivas ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Al}^{3+}$  y  $\text{Mn}^{2+}$ ) son adsorbidos por la superficie negativamente cargada de estas partículas coloidales, las cuales se mueven de manera dispersa en una solución electrolítica (Sadeghian, 2012).

#### **4.8.12. Carbono orgánico**

Se encuentra en forma de residuos orgánicos poco alterados de vegetales, animales y microorganismos, en forma de humus y en formas muy condensadas de composición próxima al C elemental (Jackson, 1964). En condiciones naturales, el C orgánico del suelo resulta del balance entre la incorporación al suelo del material orgánico fresco y la salida de C del suelo en forma de  $\text{CO}_2$  a la atmósfera (Swift, 2001, y Aguilera, 2000), erosión y lixiviación. Cuando los suelos tienen condiciones aeróbicas, una parte importante del carbono que ingresa al suelo ( $55 \text{ Pg C año}^{-1}$  a nivel global) es lábil y se mineraliza rápidamente y una pequeña fracción se acumula como humus estable ( $0,4 \text{ Pg C año}^{-1}$ ) (FAO, 2001). El  $\text{CO}_2$  emitido desde el suelo a la

atmósfera no solo se produce por la mineralización de la MOS donde participa la fauna edáfica (organismos detritívoros) y los microorganismos del suelo, sino también se genera por el metabolismo de las raíces de las plantas (Fortín *et al*, 1996).

## 5. MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1.MATERIALES

Los materiales utilizados en el presente estudio para el cumplimiento de los objetivos fueron:

#### 5.1.1. Localización Del Área de estudio

En los predios de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) El Salitre ubicada al noroccidente de la ciudad de Bogotá, la cual se encuentra a una altura de 2600 m.s.n.m y con una temperatura que oscilan entre los 6 y 24 °C, con una media anual de 15 °C, se diseñaron 15 parcelas de 1mx1m debidamente identificadas y separadas para evitar efecto de borde.



**Figura 8.** Ubicación de la PTAR El Salitre  
Fuente: PTAR El Salitre

#### 5.1.2. Material vegetal

Integrado por 15 gr/m<sup>2</sup> de Cebada variedad Metcalfe (*Hordeum vulgare L.*), equivalentes a 394 semillas aproximadamente.

#### 5.1.3. Sustrato

Para el llenado de las unidades experimentales se usó suelo y biosólido clase B en diferentes proporciones, según el diseño experimental, donde cada unidad contenía 200 Kg de sustrato.

#### 5.1.4. Materiales de campo

Bolsas plásticas, insumos agrícolas, bomba fumigadora de espalda, angeo, tablas de madera, cámara fotográfica, y libreta.

### 5.2.METODOLOGÍA

Los métodos que se han utilizado para cada uno de los objetivos específicos son los siguientes:

#### 5.2.1. Unidad experimental

Para llevar a cabo el estudio se empleó un diseño de bloques completamente al azar, conformado por cinco tratamientos con tres repeticiones cada uno, para un total de 15 unidades experimentales. Las dimensiones de cada unidad experimental fueron de (1m\*1m\*0.20m), para un total de 0.20m<sup>3</sup>, las cuales fueron delimitadas con madera y tela plástica (anexo). Teniendo en cuenta que 1m<sup>3</sup> equivale a 1Tn, se hizo la conversión para determinar la cantidad de sustrato en kg, necesario para el levantamiento de las parcelas. En la siguiente tabla se encuentran registradas, las proporciones en kg de biosólido-suelo empleadas para cada tratamiento.

**Tabla 8. Cantidad en kg de suelo y biosólido para cada tratamiento**

TRATAMIENTO	BIOSÓLIDO	SUELO	EQUIVALENTE
T1	25%	75%	50kgB/150kgS
T2	50%	50%	100kgB/100kgS
T3	75%	25%	150kgB/50kgS
T4	0%	100%	200kgS
T5	100%	0%	200kgB

#### 5.2.2. Siembra

La siembra se realizó al voleo, utilizando 15gr o 394 semillas/m<sup>2</sup> de Cebada variedad Metcalfe (*Hordeum vulgare L.*). Desde el momento de la siembra se realizaron todas las labores culturales que demandaba el cultivo.

Cebada variedad Metcalfe se cosechó a los 120 días después de siembra, el 12 de diciembre de 2014, se lavaron y posteriormente se determinó su peso fresco para estimar la producción.

#### 5.2.3. Control de plagas y enfermedades

Para el control de plagas y enfermedades se hicieron monitoreos identificando específicamente la mancha amarilla de la hoja, siendo un ataque leve controlado con un fungicida a base de propiconazol y ciprodinilo.

#### 5.2.4. Muestreo

Los muestreos se realizaron a partir de los 14 días después de siembra (dds), y con un intervalo entre muestreos de 8 días; tomándose 5 plantas al azar por unidad experimental (parcela).

#### 5.3.VARIABLES MEDIDAS

- **Porcentaje de germinación:** El porcentaje de germinación se determinó mediante la fórmula.
- **Longitud de la Planta:** Para la determinación de este parámetro se tomó en cuenta el tallo principal y se registró su altura en cms.
- **Peso seco de la Planta:** Para su determinación cada planta muestreada fue seccionada en sus diferentes órganos (raíz y hojas), los cuales se colocaron en bolsas de papel, debidamente identificadas, posteriormente se llevaron a estufa durante 72 horas a una temperatura constante de 80°C, una vez secas las muestras se determinó su peso seco en miligramos (mg), utilizando una balanza de precisión.
- **Producción:** Se cosecho la espiga de la Cebada variedad Metcalfe (*Hordeum vulgare L.*), en cada unidad experimental y se determinó el peso en grs para cada bloque.

#### 5.4.ANÁLISIS DE LABORATORIO REALIZADOS

##### 5.4.1. Análisis físico-químicos de las diferentes mezclas de suelo-biosólido

Los análisis de macro y micronutrientes se hicieron para el suelo y el biosólido, en el Instituto Geográfico Agustín Codazi.

##### 5.4.2. Análisis de Bioacumulación de Metales Pesados

Estos análisis se realizaron en la Cebada (*Hordeum vulgare*) cosechada en los distintos tratamientos y fueron realizados en el laboratorio Biopolab por el método de absorción atómica.

##### 5.4.3. Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con 5 tratamientos y 3 repeticiones, para un total de 15 parcelas.

El modelo estadístico fue el siguiente:

$$i = 1,2,3,\dots, t$$

$$j = 1,2,3,\dots, n$$

Ecuación 1. *Modelo estadístico.*

Donde:

- = Variable respuesta en la j-ésima repetición del i-ésimo tratamiento
- = Media general
- = Efecto del tratamiento i.
- = Error aleatorio, donde  $\sim$

Se realizaron 3 repeticiones por tratamiento, con el fin de disminuir el porcentaje de error.

- **Unidad Experimental:** 394 Plántulas de Tabla 9: Valores de las características químicas de las mezclas biosólido-suelo

#### 5.4.4. Análisis Estadístico

El análisis se realizó mediante ANAVA para establecer si existen o no diferencias significativas entre los tratamientos. Para la diferenciación entre los valores de cada tratamiento se usó la prueba de Duncan con un 95% de confianza.

#### 5.4.5. Tratamientos

- **Tratamiento T1:** Evaluación de la mezcla 25% biosólido y 75% suelo como enmienda orgánica para el cultivo de Cebada variedad Metcalfe (*Hordeum vulgare L.*).
- **Tratamiento T2:** Evaluación de la mezcla 50% biosólido y 50% suelo como enmienda orgánica para el cultivo de Cebada variedad Metcalfe (*Hordeum vulgare L.*).
- **Tratamiento T3:** Evaluación de la mezcla 75% biosólido y 25% suelo como enmienda orgánica para el cultivo de Cebada variedad Metcalfe (*Hordeum vulgare L.*).
- **Tratamiento T4:** Evaluación de la mezcla 0% biosólido y 100% suelo como enmienda orgánica para el cultivo de Cebada variedad Metcalfe (*Hordeum vulgare L.*).
- **Tratamiento T5:** Evaluación de la mezcla 100% biosólido y 0% suelo como enmienda orgánica para el cultivo de Cebada variedad Metcalfe (*Hordeum vulgare L.*).

R3	T2	T1	T5	T3	T4
R2	T1	T3	T2	T4	T5
R1	T5	T4	T3	T2	T1

**Figura 9. Modelo estadístico**

## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo a los objetivos específicos planteados y mediante el análisis estadístico realizado a la información obtenida por cada una de las variables experimentales, los resultados encontrados son los siguientes:

En las Tabla 9, 10 y 11 se presentan los valores obtenidos en cada uno de los tratamientos para las variables evaluadas:

Potencial de hidrógeno (pH), materia orgánica (MO), saturación de acidez intercambiable (SAI), acidez intercambiable (AI), capacidad de intercambio catiónico (CIC), saturación de bases (SB), relación Ca/Mg, conductividad eléctrica (CE), relación Mg/K, bases totales (BT), relación Ca/k, relación Ca+Mg/K, bioacumulación de cadmio, bioacumulación de cromo, bioacumulación de níquel, bioacumulación de plomo, bioacumulación de cobre, porcentaje de germinación, altura en cms, peso seco y producción en g.

**Tabla 9. Valores de las características químicas de las mezclas biosólido-suelo**

<b>VARIABLES EVALUADAS</b>	<b>T1 (25%B/75%S)</b>	<b>T2 (50%B/50%S)</b>	<b>T3 (75%B/25%S)</b>	<b>T4 (100%S)</b>	<b>T5 (100% B)</b>
<b>Ph</b>	5.2	4.9	4.7	5.4	4.4
<b>Co (%)</b>	9.8	11.7	14.6	7.2	13.5
<b>S.A.I. (%)</b>	11.1	24.2	39.5	11.4	50.5
<b>AI (cmol/kg)</b>	0.49	0.72	1.4	3.1	2.2
<b>CIC (cmol/kg)</b>	42.2	45.1	52.9	38.3	35.8
<b>SB (%)</b>	9.3	5	4	6.3	6
<b>Ca/Mg(cmol/kg)</b>	0.41	0.28	0.29	0.22	0.24
<b>CE (dS/m)</b>	3.3	4.2	3.6	0.78	3.6
<b>Mg/k (cmol/kg)</b>	3	2.7	1.5	1.4	1.26
<b>B. T. (%)</b>	3.9	2.3	2.1	2.4	2.2

<b>Ca/K (cmol/kg)</b>	1.24	0.76	0.43	0.3	0.3
<b>Ca+Mg/K (cmol/kg)</b>	4.24	3.41	1.93	1.65	1.56

**Tabla 10. Concentración de metales pesados de todos los tratamientos en el grano de Cebada variedad Metcalfe (*Hordeum vulgare L.*)**

<b>METALES PESADOS</b>	<b>T1 (25%B/75%S)</b>	<b>T2 (50%B/50%S)</b>	<b>T3 (75%B/25%S)</b>	<b>T4 (100%S)</b>	<b>T5 (100%B)</b>
<b>Cadmio (ppm)</b>	0.002	0.002	0.002	0.001	*
<b>Cromo (ppm)</b>	0.05	0.05	0.05	0.05	*
<b>Níquel (ppm)</b>	0.487	0.1154	0.31	0.125	*
<b>Plomo (ppm)</b>	96.1	17	33.6	28.5	*
<b>Cobre (ppm)</b>	9.42	7.1	9.89	2.89	*

**Tabla 11. Promedios de variables fenológicas evaluadas.**

<b>VARIABLE</b>	<b>T1 (25%B/75%S)</b>	<b>T2 (50%B/50%S)</b>	<b>T3 (75%B/25%S)</b>	<b>T4 (100%S)</b>	<b>T5 (100%B)</b>
<b>Germinación (%)</b>	73,44	59,33	27,63	55,3	6,47
<b>Peso seco (mg)</b>	13,50	916,77	1858,02	1728,38	613,14
<b>Altura (cm)</b>	4,80	39,00	44,67	67,00	52,00
<b>Producción (gr)</b>	23,00	154,00	161,00	270,00	230,00

## 6.1.PORCENTAJE DE GERMINACIÓN

Tabla 12. Porcentaje de germinación de cada unidad experimental.

PORCENTAJE DE GERMINACIÓN					
BLOQUE	100% B	75%B	50%B	25%B	0%B
1	8,10	23,22	50,44	78,11	48,44
2	7,80	27,11	69,33	70,00	64,89
3	3,50	32,56	58,22	72,22	52,67
TOTAL	19,40	82,89	178,00	220,33	166,00
PROMEDIO	6,47	27,63	59,33	73,44	55,33

### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> A <sub>j</sub>	CV
% DE GERMINACIÓN	15	0,95	0,94	14,55

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	8702,95	4	2175,74	52,12	<0,0001
TTO	8702,95	4	2175,74	52,12	<0,0001
Error	417,49	10	41,75		
Total	9120,44	14			

### Test:Tukey Alfa=0,05 DHS=17,36260

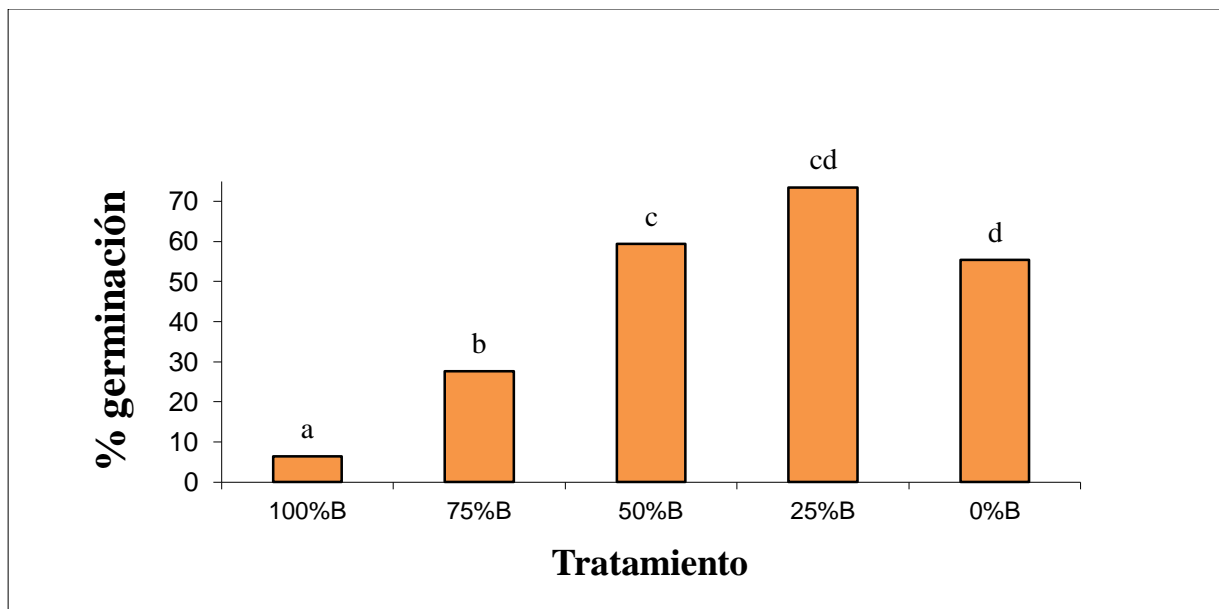
Error: 41,7488 gl: 10

TTO Medias n E.E.

5	6,47	3	3,73	A
3	27,62	3	3,73	B
4	55,30	3	3,73	C
2	59,31	3	3,73	C D
1	73,37	3	3,73	D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Figura 10. Anava y Tukey Porcentaje de Germinación



**Gráfica 1. Porcentaje de germinación %**

La germinación se presentó 10 días después de siembra en todos los tratamientos. Aunque hubo algunos con mejores resultados. Los tratamientos con un mayor porcentaje de germinación fueron: T1 (25% biosólido y 75% suelo) con el 73,44%; T2:(50% biosólido y 50% suelo) con el 59,3%, y T4 (100%) con el 55,3%, a diferencia de los tratamientos T3: (75% biosólido y 25% suelo) con él 27,63% y T5: (100% biosólido y 0% suelo) con el 6,47%, que fueron los menores.

El análisis de varianza para el porcentaje de germinación presentó una alta diferencia significativa entre los tratamientos, obteniendo un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0,95 lo cual indica las variaciones por el efecto del modelo estadístico sobre los tratamientos estudiados, y un coeficiente de variación (C.V.) de 14,55 %.

Al aplicar la prueba Tukey se determinó que hubo diferencia significativa entre todos los tratamientos. Lo anterior se corrobora con lo reportado por Celis 2006 que evaluó el porcentaje de germinación en plantas de lechuga, sometidas a diferentes concentraciones de suelo y biosólido, encontrando el 80% en concentraciones moderadas de biosólido y 14.4% en concentraciones elevadas de biosólidos.

## 6.2.PESO SECO

Tabla 13. Peso seco de cada unidad experimental

PROMEDIO DEL PESO SECO TOTAL DE LAS PLANTAS (ULTIMO MUESTREO)					
BLOQUE	100% B	75%B	50%B	25%B	0%B
1	13,50	743,06	1803,81	1561,35	631,09
2		1055,44	1803,59	1950,44	677,75
3		951,81	1966,65	1673,34	530,59
TOTAL	13,5	2750,31	5574,049	5185,133	1839,434
PROMEDIO	13,50	916,77	1858,02	1728,38	613,14

### Análisis de la varianza

Variable N R<sup>2</sup> R<sup>2</sup> A<sub>j</sub> CV  
 PESO SECO 15 0,98 0,97 12,35

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	7234235,65	4	1808558,91	113,03	<0,0001
TTO	7234235,65	4	1808558,91	113,03	<0,0001
Error	160005,88	10	16000,59		
Total	7394241,53	14			

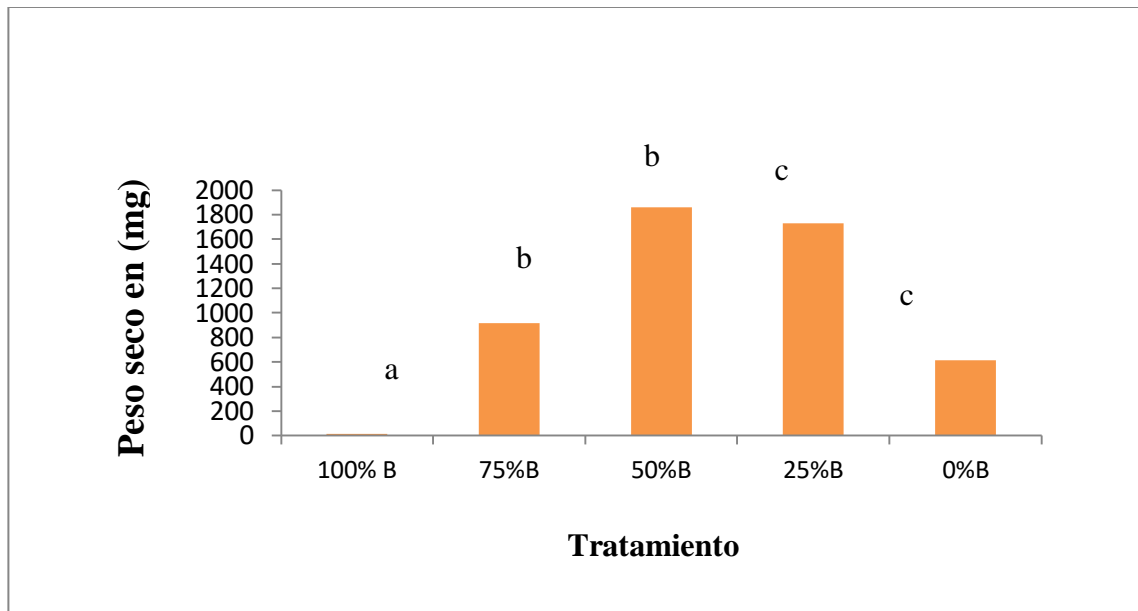
Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=339,90776

Error: 16000,5884 gl: 10

TTO	Medias	n	E.E.	
5	4,50	3	73,03	A
4	613,14	3	73,03	D
3	916,77	3	73,03	B
1	1728,38	3	73,03	C
2	1858,02	3	73,03	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Figura 11. Anava y Tukey peso seco



**Gráfica 2. Peso Seco en %**

Respecto al peso seco los tratamientos que reportaron los valores más altos fueron: T1 (25% biosólido y 75% suelo) con 1728,38 mg y T2:(50% biosólido y 50% suelo) con 1858,02 mg, a diferencia de los demás tratamientos que reportaron valores bajos; T3 (75% biosólido y 25% suelo) con 916,77 mg, T4 (100%) con 613,14mg y T5: (100% biosólido y 0% suelo) con 13,50. que fueron los menores. El análisis de varianza para el peso seco presentó una alta diferencia significativa entre los tratamientos, obteniendo un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0,98 lo cual indica las variaciones por el efecto del modelo estadístico sobre los tratamientos estudiados, y un coeficiente de variación (C.V.) de 12,35 %.

Al aplicar la prueba Tukey se determinó que hubo diferencia significativa entre todos los tratamientos. Lo anterior se corrobora con lo reportado por Ramírez 2006 que evaluó el peso seco en plantas de rábano, sometidas a diferentes concentraciones de suelo y biosólido, encontrando un peso seco de 1800 mg en concentraciones moderadas de biosólido y menor a 100 mg en concentraciones elevadas de biosólidos.

### 6.3.ALTURA

Tabla 14. Altura en (cm) de cada unidad experimental

PROMEDIO DE LA LONGITUD TOTAL DE LAS PLANTAS (ULTIMO MUESTREO)					
BLOQUE	100% B	75%B	50%B	25%B	0%B
1	4,8	39,00	45,00	69,00	52,00
2		41,00	42,00	62,00	49,00
3		37,00	47,00	70,00	55,00
TOTAL	4,8	117	134	201	156
PROMEDIO	4,80	39,00	44,67	67,00	52,00

**Análisis de la varianza**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
ALTURA EN (cm)	15	0,99	0,98	7,43

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	7100,09	4	1775,02	192,88	<0,0001
TTO	7100,09	4	1775,02	192,88	<0,0001
Error	92,03	10	9,20		
Total	7192,12	14			

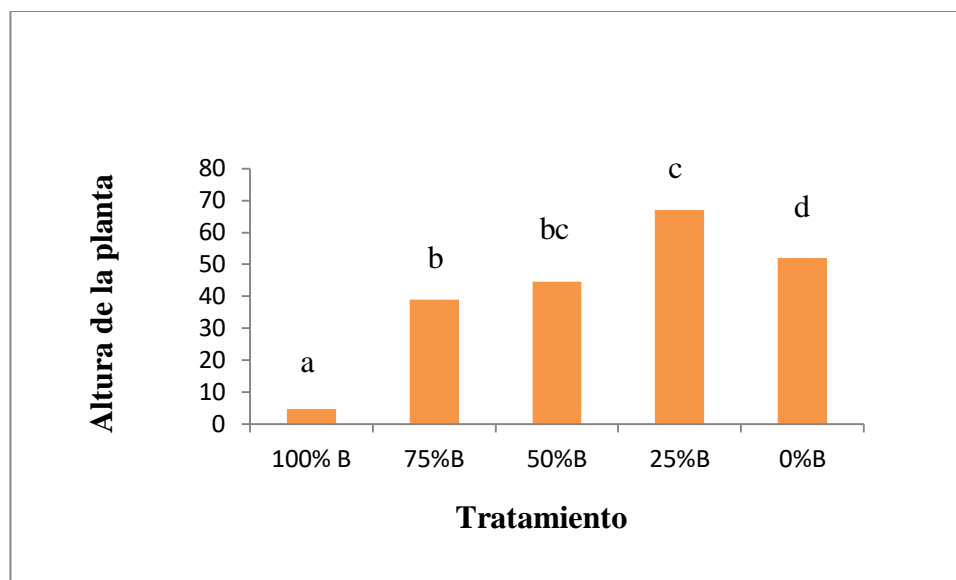
**Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=8,15173**

Error: 9,2027 gl: 10

TTO	Medias	n	E.E.	
5	1,60	3	1,75	A
3	39,00	3	1,75	B
2	44,67	3	1,75	B C
4	52,00	3	1,75	C
1	67,00	3	1,75	D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Figura 12. Anava y Tukey altura de la planta



**Gráfica 3. Altura en (cm)**

Respecto a la altura de la planta tratamientos que reportaron los valores más altos fueron: T1 (25% biosólido y 75% suelo) con 67cm y T4: (100%) con 52cm, a diferencia de los demás tratamientos que reportaron valores bajos; T3 (75% biosólido y 25% suelo) con 39cm, T2 (50% biosólido y 50% suelo) con 44,67cm y T5: (100% biosólido y 0% suelo) con 4,8cm. El análisis de varianza para la altura de la planta presentó una alta diferencia significativa entre los tratamientos, obteniendo un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0,99 lo cual indica las variaciones por el efecto del modelo estadístico sobre los tratamientos estudiados, y un coeficiente de variación (C.V.) de 7,43 %. Al aplicar la prueba Tukey se determinó que hubo diferencia significativa entre todos los tratamientos. Lo anterior se corrobora con lo reportado por Ramírez 2006 que evaluó la altura en plantas de rábano, sometidas a diferentes concentraciones de suelo y biosólido, encontrando mayor altura en concentraciones moderadas de biosólido y menor altura en concentraciones elevadas de biosólidos.

#### 6.4.PRODUCCIÓN EN gr

**Tabla 15. Producción en gr de cada unidad experimental**

PRODUCCIÓN EN gr					
BLOQUE	100% B	75%B	50%B	25%B	0%B
1	0,00	48,00	50,00	83,00	78,00
2	15,00	64,00	59,00	92,00	85,00
3	8,00	42,00	52,00	95,00	67,00
TOTAL	23,00	154,00	161,00	270,00	230,00
PROMEDIO	7,67	51,33	53,67	90,00	76,67

**Análisis de la varianza**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> A <sub>3</sub>	CV
PRODUCCIÓN EN gr	15	0,95	0,94	13,54

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	11426,93	4	2856,73	52,26	<0,0001
TTO	11426,93	4	2856,73	52,26	<0,0001
Error	546,67	10	54,67		
Total	11973,60	14			

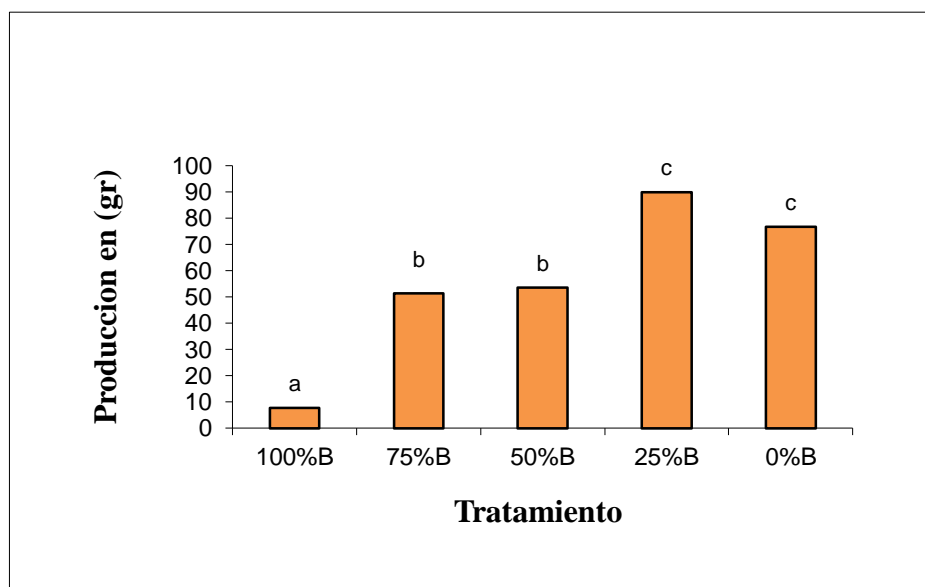
Test: Tukey Alfa=0,05 DHS=19,86801

Error: 54,6667 gl: 10

TTO	Medias	n	E.E.	
5	10,33	3	4,27	A
2	44,67	3	4,27	B
3	51,33	3	4,27	B
4	76,67	3	4,27	C
1	90,00	3	4,27	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

**Figura 13. Anava y Tukey producción en gramos**



**Gráfica 4. Producción en (gr)**

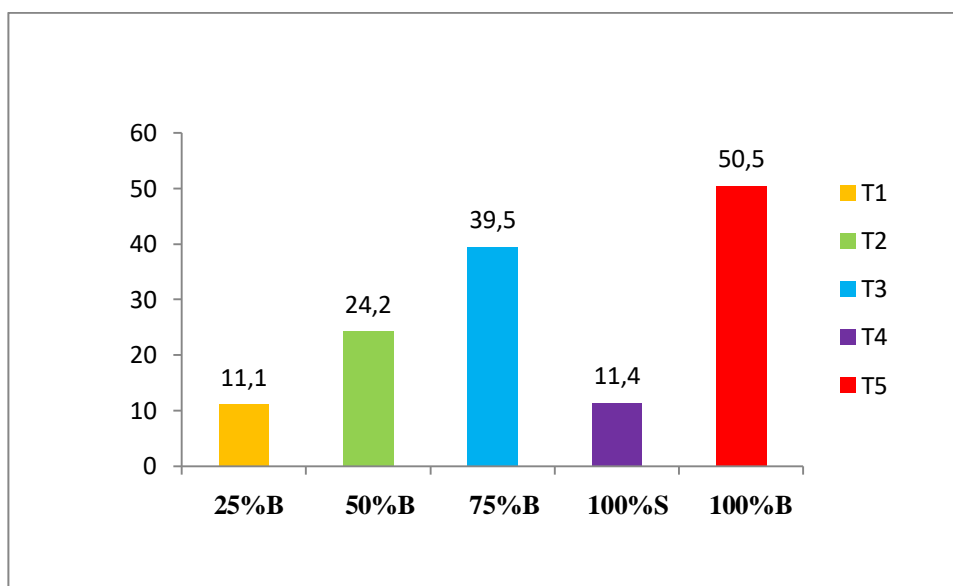
Respecto a la producción los tratamientos que reportaron los valores más altos fueron: T1 (25% biosólido y 75% suelo) con 90 gr y T4:(100% suelo) con 76,67 gr, a diferencia de los demás tratamientos que reportaron valores bajos; T3 (75% biosólido y 25% suelo) con 51,33, T2 (25% biosólido y 75% suelo) con 53,67 gr y T5: (100% biosólido y 0% suelo) con 7,67. El análisis de varianza para la producción presentó una diferencia significativa entre los tratamientos, obteniendo un coeficiente de determinación (R<sup>2</sup>) de 0,95 lo cual indica las variaciones por el efecto del modelo estadístico sobre los tratamientos estudiados, y un coeficiente de variación (C.V.) de 13,54 %. Al aplicar la prueba Tukey se determinó que hubo diferencia significativa entre todos los tratamientos. Según Fenalce 2009 los rendimientos de la Cebada (*Hordeum vulgare*) en el país son de 2000 Kg/ha, por lo que se puede inferir que el rendimiento promedio

del cultivo es de 200gr/m<sup>2</sup>. Por lo mencionado anteriormente se puede concluir que ningún tratamiento se ajusta a los rendimientos reportados por Fenalce, debido a que la saturación de la acidez intercambiable del biosólido influyo en la productividad de la Cebada (*Hordeum vulgare*), ya que dicho cultivo es susceptible a suelos ácidos.

### 6.5.SATURACIÓN DE ACIDEZ INTERCAMBIABLE

**Tabla 16. Valores del porcentaje de acidez intercambiable de todos los tratamientos**

TRATAMIENTO	SATURACION DE ACIDEZ INTERCAMBIABLE (%)	INTERPRETACION IGAC
25% biosólido/75% suelo	11.1	Sin problemas en general limitante para cultivos susceptibles
50% biosólido/50% suelo	24.4	Limitante para cultivos moderadamente tolerantes
75% biosólido/25% suelo	39.5	Limitante para cultivos tolerantes
100% suelo	11.4	Sin problemas en general limitantes para cultivos
100% biosólido	50.5	Limitante para cultivos tolerantes



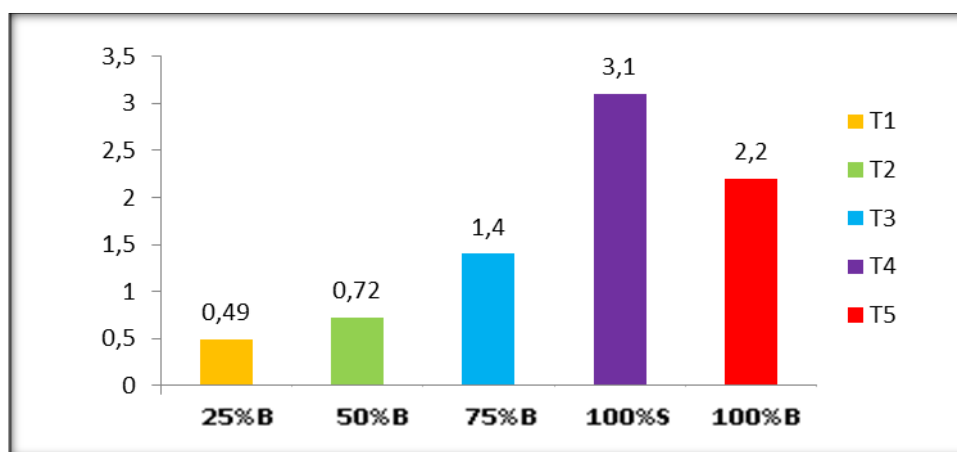
**Gráfica 5. Saturación de acidez intercambiable (%)**

La saturación de aluminio fue similar en los tratamientos T1 (11,1) y T4 (11,4) al igual que T2 (24,2) y T3 (39,5) que también reportaron valores similares. A diferencia de T5 (50,5) que reporto el valor más alto. Según rangos establecidos por el IGAC valores mayores al 60% no son tolerables para ningún tipo de cultivo, siendo los valores recomendados para la mayoría de las plantas entre 10% y 25%. Según Campilla (2014); cultivos como la Remolacha (*Beta vulgaris*), la Alfalfa (*Medicago sativa*) y la Cebada (*Hordeum vulgare*) presentan alta sensibilidad a la concentración de Al<sup>3+</sup>, para valores entre 1 y 5 (%), lo cual se traduce en una baja productividad. De acuerdo a lo citado anteriormente se puede inferir que ningún tratamiento reporto valores óptimos de saturación de acidez intercambiable para el cultivo de Cebada (*Hordeum vulgare*). Siendo T1 (11,1) y T4 (11,4) los tratamientos que más se acercan al rango establecido para el cultivo de Cebada (*Hordeum vulgare*). De acuerdo a los valores obtenidos, se evidencia un aumento en el porcentaje de acidez intercambiable, en los tratamientos con mayor porcentaje de biosólido.

## 6.6.ACIDEZ INTERCAMBIABLE

**Tabla 17. Valores de acidez intercambiable de todos los tratamientos.**

TRATAMIENTO	ACIDEZ INTERCAMBIABLE cmol(+)/kg
25% biosólido/75% suelo	0.49
50% biosólido/50% suelo	0.72
75% biosólido/25% suelo	1.4
100% suelo	3.1
100% biosólido	2.2



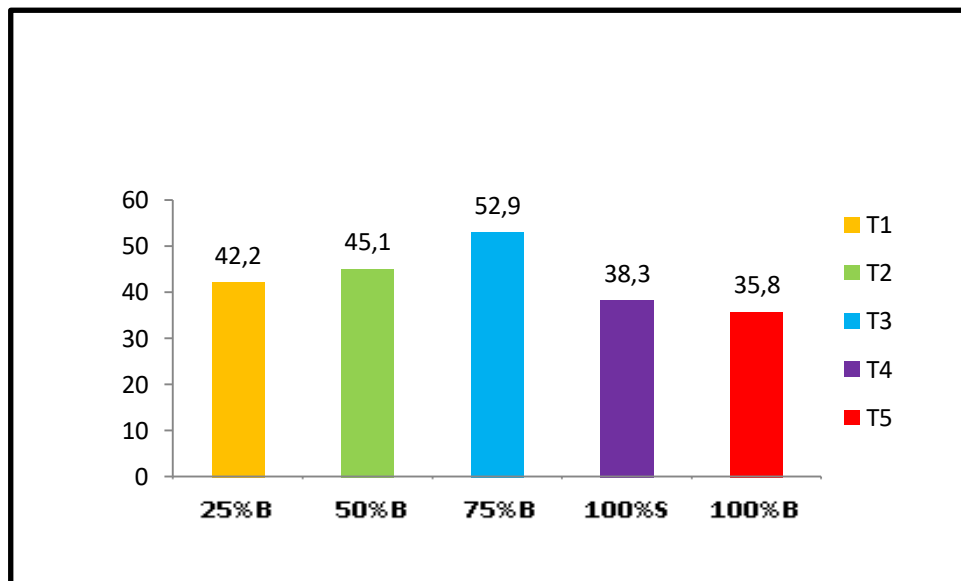
**Gráfica 6. Acidez intercambiable cmol/Kg**

Respecto a la acidez intercambiable los tratamientos que reportaron los valores más bajos fueron T1 (0.49), T2 (0.72) y T3 (1,4) a diferencia de T4 (3.1) y T5 (2,2) que registraron los valores más altos. Existe una relación directa entre el porcentaje de biosólido presente en cada tratamiento y la acidez intercambiable, ya que a mayor porcentaje de biosólido, aumenta el valor de la acidez intercambiable, lo cual se evidencia con los resultados obtenidos en cada tratamiento. Según Chávez 2015 existe una relación inversa entre la cantidad de aluminio presente en el suelo y el pH ya que a mayor cantidad de aluminio menor va a ser el pH. El aluminio en altas cantidades genera toxicidad para las plantas, además afecta negativamente propiedades químicas del suelo como la solubilidad, disponibilidad y absorción de nutrientes.

### 6.7.CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO

**Tabla 18. Valores del porcentaje de capacidad de intercambio catiónico de todos los tratamientos**

TRATAMIENTO	CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO (meq/100gr)	INTERPRETACIÓN IGAC
25% biosólido/75% suelo	42.2	Alta
50% biosólido/50% suelo	45.1	Alta
75% biosólido/25% suelo	52.9	Alta
100% suelo	38.3	Alta
100% biosólido	35.8	Alta



**Gráfica 7. Capacidad de intercambio catiónico (meq/100gr)**

Según Moreno G 2009 la materia orgánica se encuentra en un alto porcentaje en el biosólido aplicado al suelo, por lo que se incrementa la CIC. Lo cual se corrobora con el trabajo de Quinchia *et al* 2004 quien incorporo biosólido al suelo en diferentes proporciones y determino la CIC de cada tratamiento dos meses después de haber iniciado el estudio, dichos resultados se encuentran en la tabla No. 19 lo que permite evidenciar el aumento de los valores de la CIC después de haber aplicado los diferentes tratamientos. En el presente trabajo todos los tratamientos reportaron un CIC alta según tabla IGAC, siendo la de mayor valor la correspondiente al T3 (50% Biosólido y 50% Suelo) con 52.9 meq/100gr, lo cual coincide con los autores mencionados.

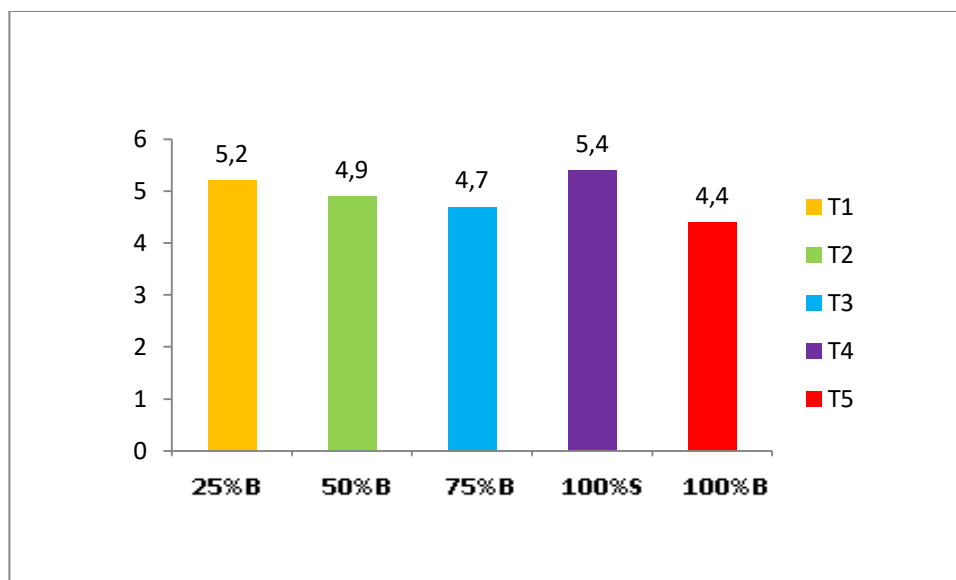
**Tabla 19. Valores de la capacidad de intercambio catiónico del trabajo de Quinchia *et al* 2004**

TRATAMIENTO	CIC
100% Suelo	3.2 meq/100gr
80% Suelo y 20% Biosólido	19.6 meq/100gr
70% Suelo y 30% Biosólido	13.8 meq/100gr
60% Suelo y 40% Biosólido	12.6 meq/100gr
50% Suelo y 50% Biosólido	18.9 meq/100gr
100% Biosólido	56.8 meq/100gr

## 6.8.POTENCIAL DE HIDRÓGENO

**Tabla 20. Valores del potencial de hidrogeno de todos los tratamientos**

TRATAMIENTO	POTENCIAL DE HIDROGENO	INTERPRETACIÓN IGAC
25% biosólido/75% suelo	5.2	Fuertemente acido
50% biosólido/50% suelo	4.9	Muy fuertemente acido
75% biosólido/25% suelo	4.7	Muy fuertemente acido
100% suelo	5.4	Fuertemente acido
100% biosólido	4.4	Extremadamente acido



**Gráfica 8. Potencial de hidrógeno**

La Tabla No. 19 muestra los valores de pH del suelo, tratado con distintas dosis de biosólidos. Se observa que el suelo sin biosólido presenta el valor de pH más alto. La leve disminución de pH a dosis más altas de biosólido corresponde al efecto salino del biosólido. Sin embargo, en el presente trabajo se observó que los valores de pH no difieren mucho entre los tratamientos (pH entre 4,4 y 5,4) clasificando todas las mezclas según rangos establecidos por el IGAC. La disminución del pH conforme aumenta la concentración de biosólidos en el suelo también ha sido observada por Negrín y Jiménez (2012).

Tabla No. 20, quienes reportaron un valor de pH para el tratamiento 100% suelo, mayor a los tratamientos biosólido-suelo. Según Casas (2011), los efectos perjudiciales de la acidez suelen presentarse en un suelo con un pH menor a 5.5 en estas condiciones, se producen problemas de toxicidad debido a la presencia de aluminio y manganeso, además de una disminución sensible de la disponibilidad de los nutrientes.

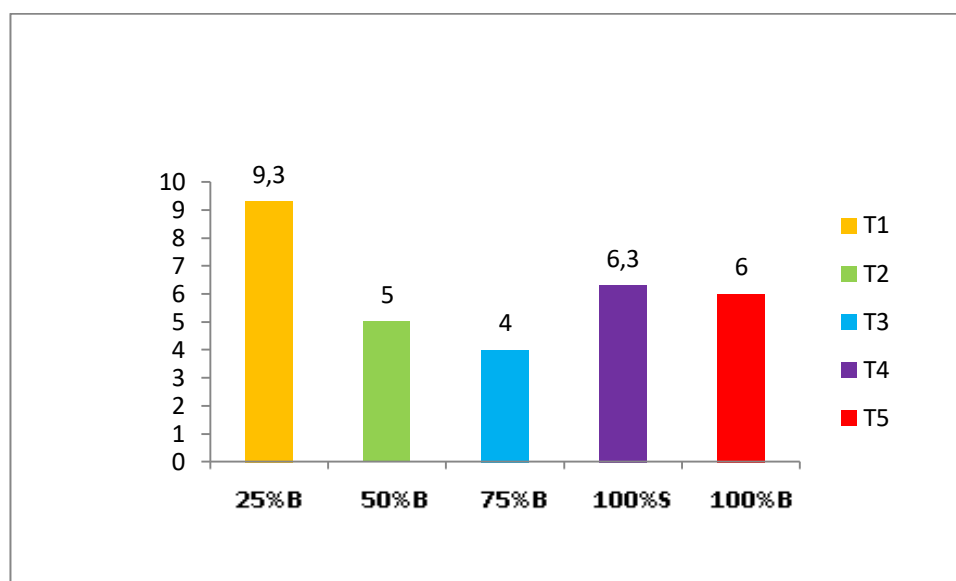
**Tabla 21. Valores del potencial de hidrogeno del trabajo de Negrín y Jiménez 2012**

TRATAMIENTO	pH
100% Suelo	7.2
Biosólido (6.8 t.ha)	7.1
Biosólido (9.8 t.ha)	7.0

## 6.9.SATURACIÓN DE BASES

Tabla 22. Valores del porcentaje de saturación de bases de todos los tratamientos

TRATAMIENTO	SATURACION DE BASES	INTERPRETACIÓN IGAC
25% biosólido/75% suelo	9.3	Bajo
50% biosólido/50% suelo	5.0	Bajo
75% biosólido/25% suelo	4.0	Bajo
100% suelo	6.3	Bajo
100% biosólido	6	Bajo



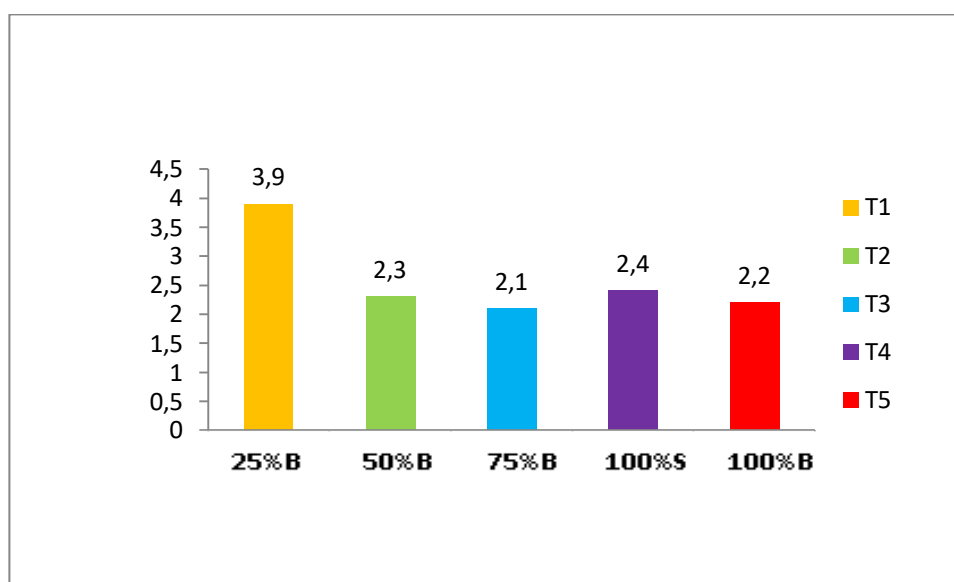
Gráfica 9. Saturación de bases

Según Casas (2011) los suelos ácidos presentan bajo porcentaje de saturación de bases (calcio  $\text{Ca}^{2+}$ , magnesio  $\text{Mg}^{2+}$ , potasio  $\text{K}^{+}$ , y sodio  $\text{Na}^{+}$ ) y elevados porcentajes de cationes ácidos o generadores de ácido ( $\text{H}^{+}$  y  $\text{Al}^{3+}$ ). En todos los tratamientos los valores de pH fueron inferiores a 5.5, lo cual generó que el porcentaje de saturación de bases oscilara entre el 5% y 10%, lo que demuestra que según rangos IGAC el porcentaje de saturación fue bajo en todos los tratamientos, siendo el de mayor valor el T1 (9.3%) debido a que fue el tratamiento con menor porcentaje de biosólido. En suelos con pH de 7, el porcentaje de saturación de bases puede llegar prácticamente al 100%, a diferencia de los suelos con pH menor a 5.5 ya que esto perjudica la actividad radicular; y aunque mejora la asimilación de algunos nutrientes, como el hierro, la actividad microbiana es menor, y empeora la asimilación de fósforo y el nitrógeno.

## 6.10. BASES TOTALES

**Tabla 23. Valores de las bases (Ca, Mg, K, Na) de todos los tratamientos**

TRATAMIENTO	Ca	Mg	K	Na	TOTAL BASES
25% biosólido/75% suelo	0,87	2,1	0,70	0,24	3.9
50% biosólido/50% suelo	0,37	1,3	0,49	0,10	2.3
75% biosólido/25% suelo	0,24	1,0	0,67	0,18	2.1
100% suelo	0,29	1,1	0,81	0,25	2.4
100% biosólido	0,22	0,92	0,73	0,29	2.2



**Gráfica 10. Bases totales cmol/kg**

Las bases totales fueron similares en los tratamientos T2 (2.3), T3 (2.1), T4 (2.4), y T5 (2.2) a diferencia de T1 (3.9) que reporto el mayor valor. Según Garrido 2000 si el suelo es excesivamente ácido entonces en el complejo de cambio del suelo abundan los hidrogeniones y el aluminio, impidiendo que otros elementos necesarios tales como el calcio, magnesio, sodio o potasio permanezcan en el suelo, pasando a la fracción soluble y siendo fácilmente eliminados con el agua de lluvia o de riego. La tabla 23 muestra los valores normales en meq/100g para cada uno de los cationes de cambio (Ca, Mg, K, Na), tomando como referencia dichos valores, se puede concluir que en ningún tratamiento el calcio se encuentra dentro de los niveles aceptables. Respecto al magnesio solo el T1 (2,1) se encuentra dentro del rango establecido. En todos los tratamientos el potasio se encuentra dentro de los rangos establecidos, y por último el sodio en ningún tratamiento se encuentra dentro de los niveles aceptables. Debido a esto se ve afectada la

C.I.C. ya que la mayoría de los valores de los cationes de cambio se encuentran en una proporción baja.

**Tabla 24. Valores de referencia de cationes de cambio (Ca, Mg, K, Na)**

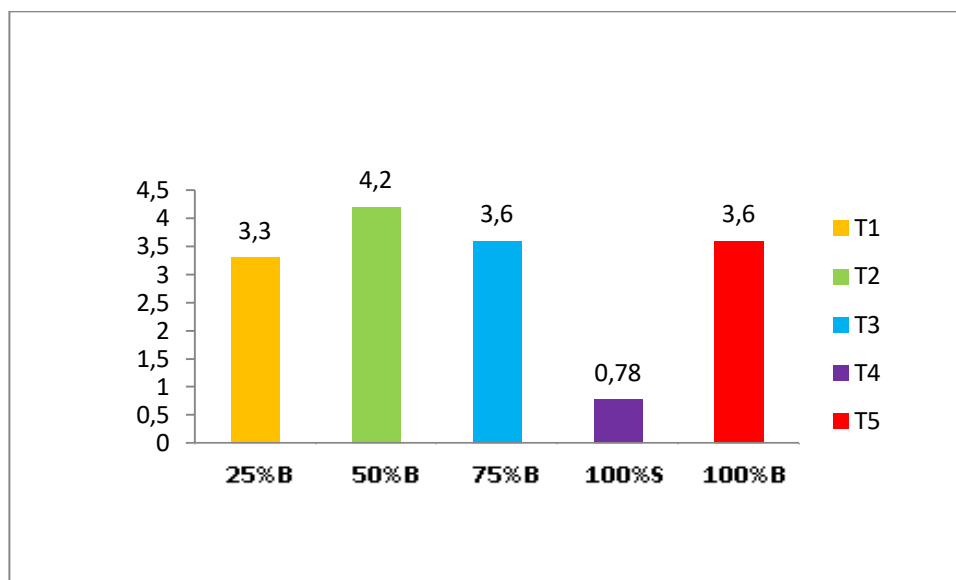
CATIONES DE CAMBIO		
Calcio cambiabile	meq/100 g	9-10,5
Magnesio cambiabile	meq/100 g	1,5-2,5
Sodio cambiabile	meq/100 g	0,40-1,3
Potasio cambiabile	meq/100 g	0,5-1,2

Tomado de: Interpretación de Análisis de Suelos

### 6.11. CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

**Tabla 25. Valores de la conductividad eléctrica de todos los tratamientos**

TRATAMIENTO	CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	INTERPRETACIÓN IGAC
25% biosólido/75% suelo	3,3	Efectos de salinidad generalmente inadvertidos. El rendimiento de los cultivos muy sensible a las sales, puede ser limitado
50% biosólido/50% suelo	4,2	El rendimiento de los cultivos sensibles a las sales
75% biosólido/25% suelo	3,6	Efectos de salinidad generalmente inadvertidos. El rendimiento de los cultivos muy sensible a las sales, puede ser limitado
100% suelo	0,78	Efectos de salinidad generalmente inadvertidos. El rendimiento de los cultivos muy sensible a las sales, puede ser limitado
100% biosólido	3,6	Efectos de salinidad generalmente inadvertidos. El rendimiento de los cultivos muy sensible a las sales, puede ser limitado



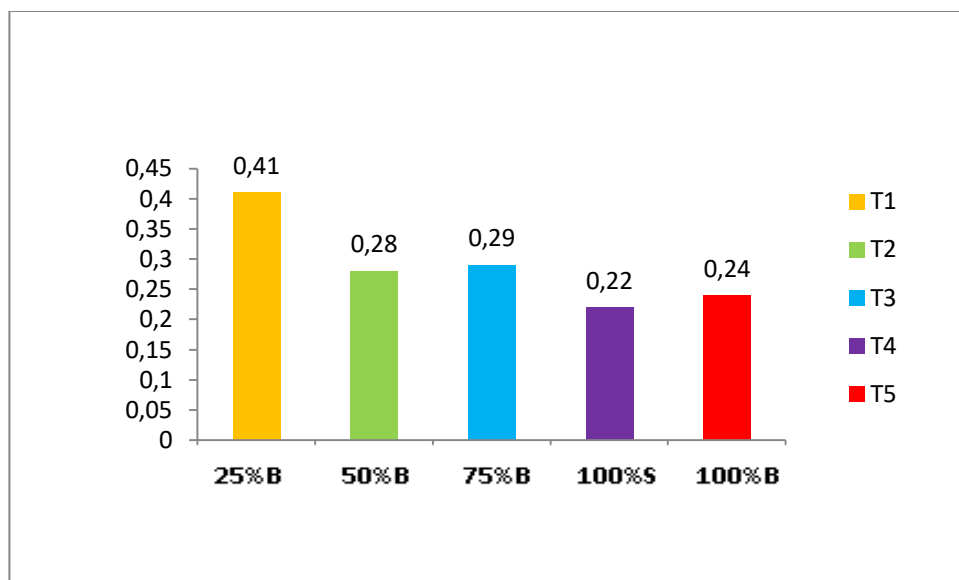
**Gráfica 11. Conductividad Eléctrica (dS/m)**

La conductividad eléctrica fue similar en los tratamientos T1 (3.3), T2(4.2), T3(3.6) y T5(3.6) a diferencia de T4 (0.78) que reporto el menor valor. De acuerdo a los resultados obtenidos se evidencia una relación directa en cuanto al porcentaje de biosólido y la conductividad eléctrica, ya que esta aumenta con la aplicación del biosólido. Según Paz 2007 La conductividad eléctrica media demuestra que los suelos se encuentran en condiciones no salinas (0-2 mmhos/cm), por lo cual no tienen ningún grado de limitación y pueden sustentar cualquier tipo de vegetación. Por lo citado anteriormente se puede deducir que ningún tratamiento arrojó un valor óptimo de conductividad eléctrica.

### 6.12. RELACIÓN Ca/Mg

**Tabla 26. Valores de la relación Ca/Mg de todos los tratamientos**

TRATAMIENTO	RELACION Ca/Mg	INTERPRETACIÓN IGAC
25% biosólido/75% suelo	0,41	Relación no ideal
50% biosólido/50% suelo	0,28	Relación no ideal
75% biosólido/25% suelo	0,29	Relación no ideal
100% suelo	0,22	Relación no ideal
100% biosólido	0,24	Relación no ideal



**Gráfica 12. Relación Ca/Mg**

La relación Ca/Mg fue similar en todos los tratamientos, sin embargo T1 (0,41) reporto el valor más alto. Según rangos establecidos por el IGAC, todos los tratamientos reportaron una relación no ideal. Según Bernier 2002 un exceso de (Ca) intercambiable puede interferir la absorción del magnesio (Mg) y del potasio (K). Si la relación Ca/Mg es mayor de 10, es posible que se produzca una deficiencia de magnesio. Las tablas 26 y 27 registran los niveles en cmol/kg aceptables, para los cationes de intercambio (Ca, Mg, K, Na), de acuerdo a dichos valores podemos concluir que el calcio (0,22 y 0,87) se encuentra en una concentración baja, a diferencia del magnesio (0,92-2,1) que se encuentra dentro de los rangos establecidos.

**Tabla 27. Niveles aceptables de calcio intercambiable**

	<b>Rango</b>	<b>Categoría</b>
<b>Calcio intercambiable Cmol (+)/kg</b>	£ 2.0	<b>Muy Bajo</b>
	2.01 – 5.00	<b>Bajo</b>
	5.01– 9.00	<b>Medio</b>
	9.01 – 15.00	<b>Adecuado</b>
	³ 15.01	<b>Alto</b>

Tomado de: Análisis de suelo, metodología e interpretación

**Tabla 28. Niveles aceptables de magnesio, potasio y sodio intercambiable**

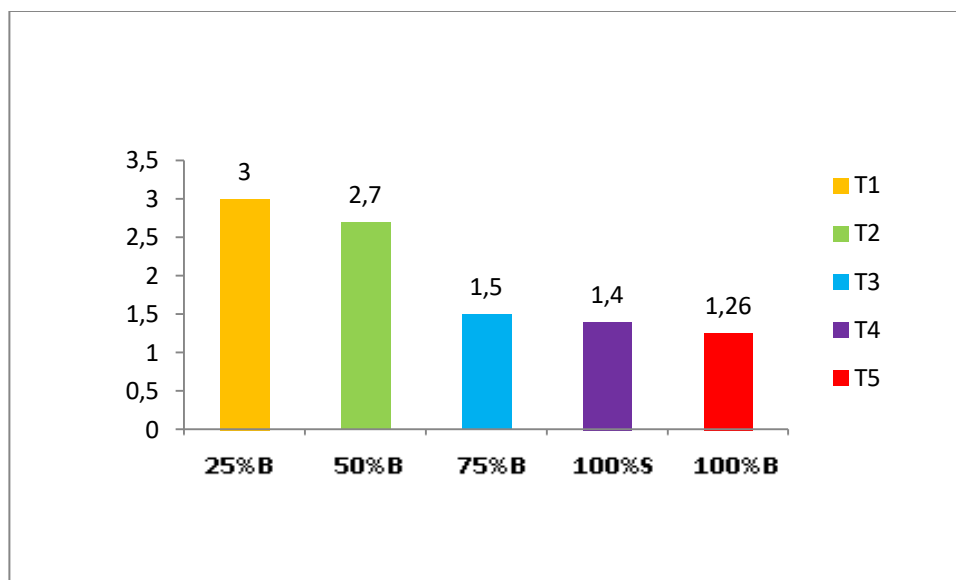
<b>Magnesio intercambiable Cmol (+)/kg</b>	£ 0.25 0.26 – 0.50 0.51– 1.00 1.01-2.00 ³ 2.01	Muy Bajo Bajo Medio Adecuado Alto
<b>Potasio intercambiable Cmol(+)/kg</b>	£ 0.12 0.13 – 0.25 0.26 – 0.51 0.52 – 0.64 ³ 0.65	Muy Bajo Bajo Medio Adecuado Alto
<b>Sodio intercambiable Cmol (+)/kg</b>	£ 0.15 0.16 – 0.20 0.21 – 0.30 0.31 – 0.40 0.41 – 0.51 ³ 0.51	Muy Bajo Bajo Medio Adecuado Alto Muy Alto
<b>Suma bases intercamb. Cmol (+)/kg</b>	£ 3.00 3.01– 6.00 6.01 – 11.00 11.01 – 15.00 ³ 15.01	Muy Bajo Bajo Medio Adecuado Alto

Tomado de: Análisis de suelo, metodología e interpretación

### 6.13. RELACIÓN Mg/K

**Tabla 29. Valores de la relación Mg/K de todos los tratamientos**

TRATAMIENTO	RELACION Mg/K	INTERPRETACIÓN IGAC
25% biosólido/75% suelo	3	Relación ideal
50% biosólido/50% suelo	2,7	Relación no ideal
75% biosólido/25% suelo	1,5	Relación no ideal
100% suelo	1,4	Relación no ideal
100% biosólido	1,26	Relación no ideal



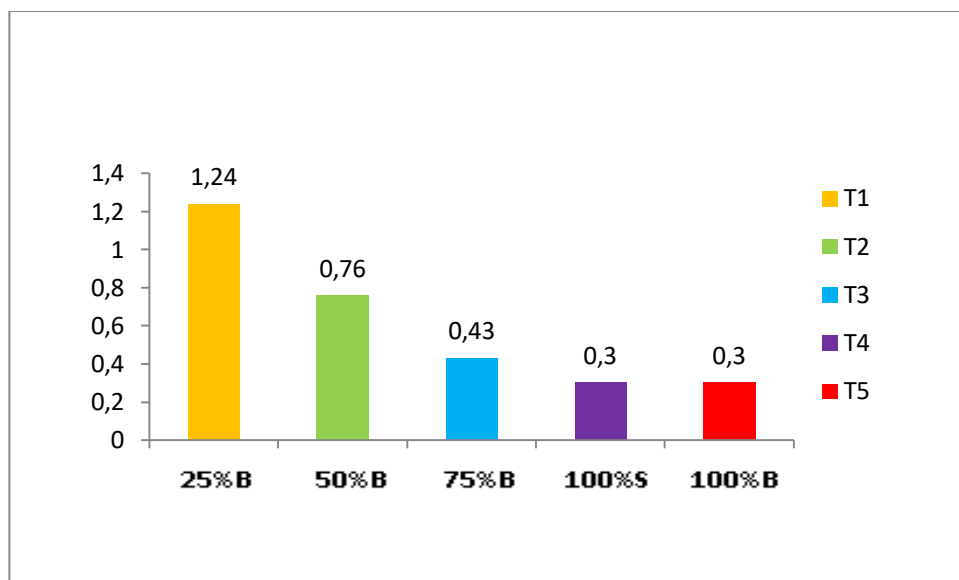
**Gráfica 13. Relación Mg/K cmol/kg**

La relación Mg/K fue similar en todos los tratamientos, sin embargo T1 (3) reporto el valor más alto. Según rangos establecidos por el IGAC, todos los tratamientos reportaron una relación no ideal. Las tablas 26 y 27 registran los niveles en cmol/kg aceptables, para los cationes de intercambio (Ca, Mg, K, Na), de acuerdo a dichos valores podemos concluir que el potasio (0,49 y 0,81) se encuentra en una concentración aceptable al igual que el magnesio (0,92-2,1) que se encuentra dentro de los rangos establecidos. Siendo la relación ideal de Mg/K igual a 3.

#### 6.14. RELACIÓN Ca/K

**Tabla 30. Valores de la relación Ca/K de todos los tratamientos**

TRATAMIENTO	RELACIÓN Ca/K	INTERPRETACIÓN IGAC
25% biosólido/75% suelo	1,24	Relación no ideal
50% biosólido/50% suelo	0,76	Relación no ideal
75% biosólido/25% suelo	0,43	Relación no ideal
100% suelo	0,30	Relación no ideal
100% biosólido	1,26	Relación no ideal



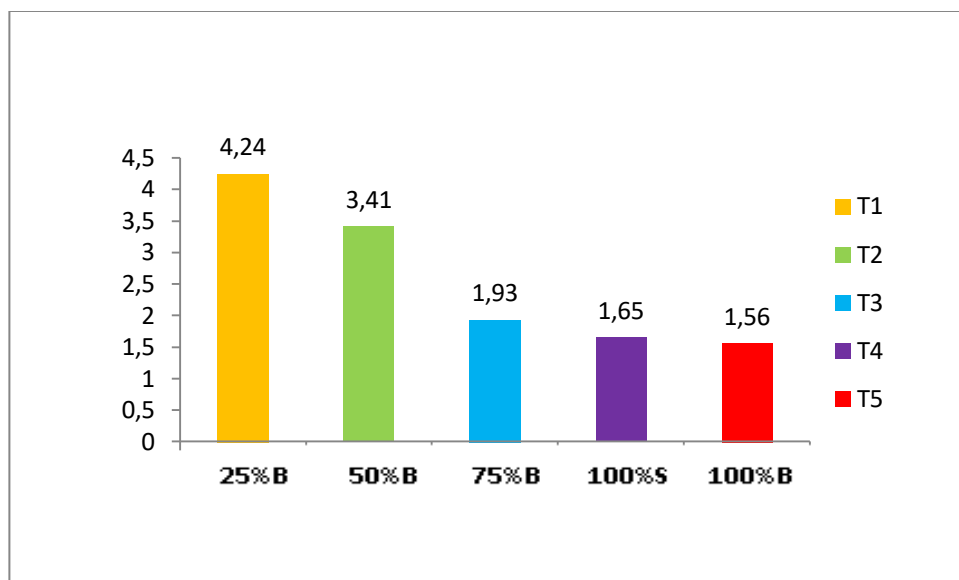
**Gráfica 14. Relación Ca/K cmol/kg**

La relación Ca/k fue similar en todos los tratamientos, sin embargo T1 (1,24) reporto el valor más alto. Según rangos establecidos por el IGAC, todos los tratamientos reportaron una relación no ideal. De acuerdo con Valencia (1999), una relación adecuada de  $Ca^{2+}$  con respecto a  $K^{+}$  en es de 6 a 1, y según Salamanca (1990), si esta relación excede a 30, se pueden presentar deficiencias de  $K^{+}$ . En cuanto a la relación óptima se refiere, es decir 6, ningún tratamiento reporto este valor.

### 6.15. RELACIÓN (Ca+Mg/K)

**Tabla 31. Valores de la relación (Ca+Mg/K) de todos los tratamientos**

TRATAMIENTO	RELACIÓN (Ca+Mg/K)	INTERPRETACIÓN IGAC
25% biosólido/75% suelo	4,24	Relación no ideal
50% biosólido/50% suelo	3,41	Relación no ideal
75% biosólido/25% suelo	1,93	Relación no ideal
100% suelo	1,65	Relación no ideal
100% biosólido	1,56	Relación no ideal



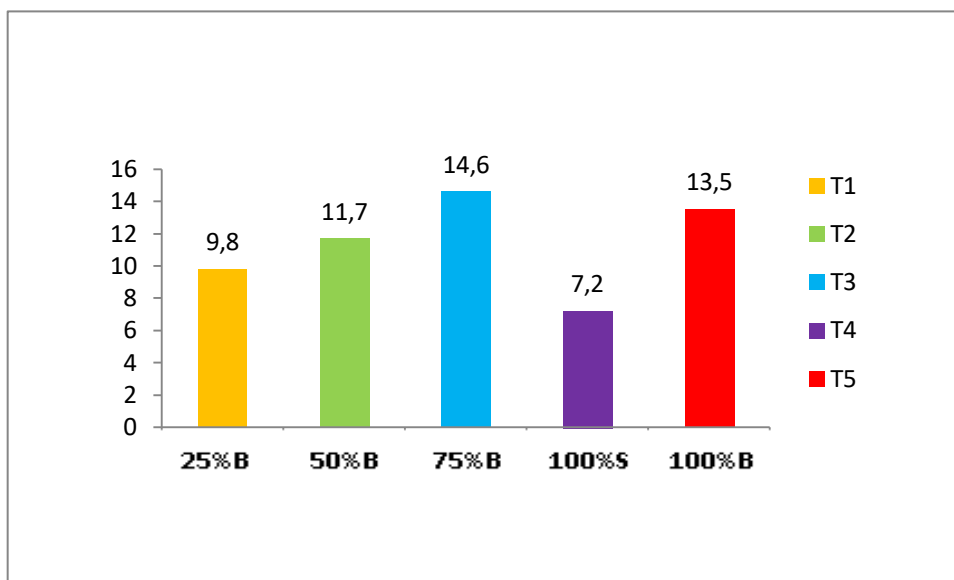
**Gráfica 15. Relación (Ca+Mg/K) cmol/kg**

La relación Ca/k fue similar en todos los tratamientos. La relación Ca/k fue similar en todos los tratamientos, sin embargo T1 (4,24) reporto el valor más alto. Según rangos establecidos por el IGAC, todos los tratamientos reportaron una relación no ideal. El valor ideal para la relación Ca+Mg/K es de 10cmol/kg. De acuerdo a lo citado anteriormente se puede deducir que ningún tratamiento reporto valores óptimos para dicha relación.

## 6.16. PORCENTAJE DE CARBONO ORGÁNICO

**Tabla 32. Valores de porcentaje de carbono orgánico de todos los tratamientos**

TRATAMIENTO	CARBONO ORGÁNICO	INTERPRETACIÓN IGAC
25% biosólido/75% suelo	9,8	Alto/Clima frio
50% biosólido/50% suelo	11,7	Alto/Clima frio
75% biosólido/25% suelo	14,6	Alto/Clima frio
100% suelo	7,2	Medio/ Clima frio
100% biosólido	13,5	Alto/Clima frio



**Gráfica 16. Porcentaje de carbono orgánico %**

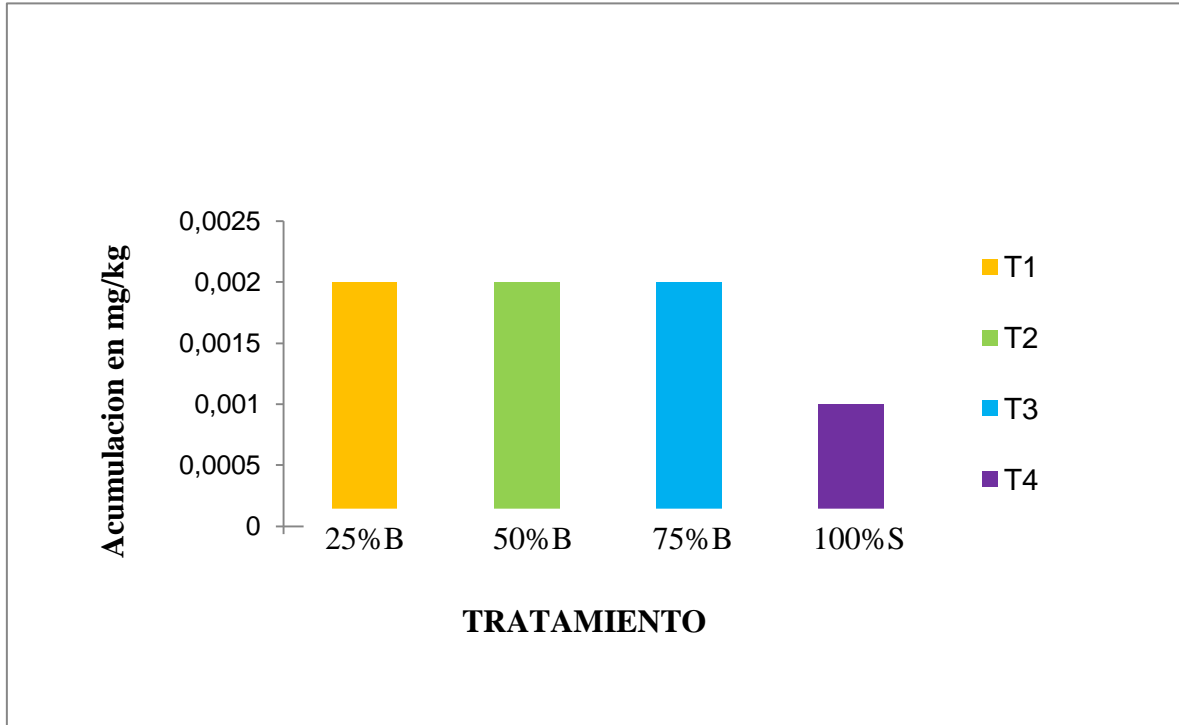
El porcentaje de carbono orgánico fue similar en todos los tratamientos. Según rangos establecidos por el IGAC todos los tratamientos reportaron un porcentaje alto. Los porcentajes más altos fueron T5 (13,5) y T4 (14,6) a diferencia de T1 (9,8), T2 (11,7) y T4 (7,2), que reportaron valores bajos. De acuerdo con los resultados se demuestra que existe una relación directa entre el contenido de biosólido y el %CO, ya que a mayor porcentaje de biosólido, mayor %CO. Lo anterior se corrobora con lo descrito por Ramírez 2007 quien reporto un aumento del %CO, después de haber aplicado el biosólido al suelo.

### 6.17. BIOACUMULACIÓN DE METALES PESADOS

**Tabla 33. Bioacumulación de metales pesados en el grano de Cebada (*Hordeum vulgare*) (mg/kg)**

Metales pesados (mg/Kg)	CEBADA COMERCIAL	T1	T2	T3	T4	Biosólido puro (ppm)
<b>CROMO</b>	0,05	0,05	0,05	0,050	0,04	50,10
<b>CADMIO</b>	0,002	0,002	0,002	0,002	0,001	3,92
<b>COBRE</b>	2,37	9,42	7,10	9,89	2,89	201,15
<b>PLOMO</b>	0,020	96,1	17,0	33,6	28,5	41,970
<b>NIQUEL</b>	0,002	0,487	0,154	0,310	0,125	30,93

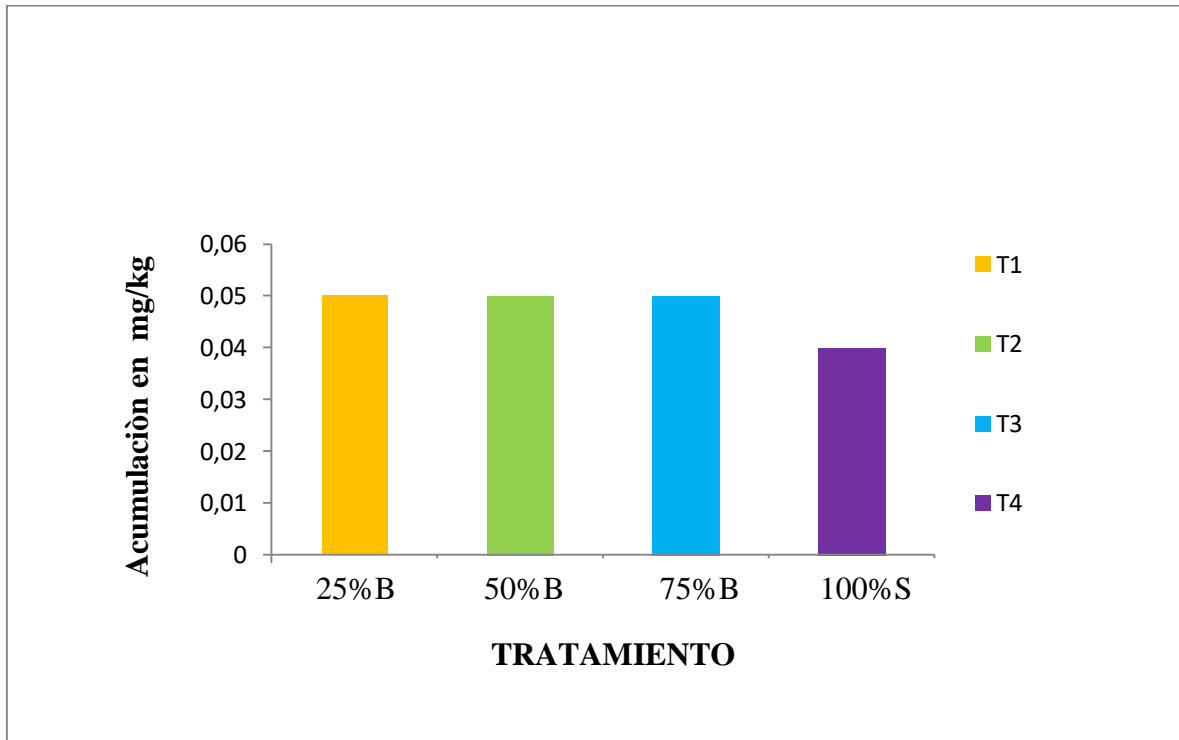
### 6.17.1. Bioacumulación de Cadmio



**Gráfica 17. Acumulación de Cadmio en los diferentes tratamientos**

La concentración de Cadmio fue similar en los tratamientos T1 (0.002), T2 (0.002) y T3 (0.002) a diferencia del T4 (0.001) que presentó el valor más bajo. Según Jiménez *et al* 2004 el cadmio es uno de los metales presentes en este tipo de compuestos orgánicos y puede encontrarse en concentraciones más elevadas que en las presentes en los suelos. Según la USEPA el valor permitido de cadmio en el biosólido es de 39mg/kg, siendo el valor promedio de cadmio presente en el biosólido en la Ptar el salitre de 6.3mg/kg. Con respecto a los alimentos la UE dio a conocer un documento en el cual señala que los valores permitidos de cadmio en cereales es de 0.10mg/kg, por lo anterior se infiere que los valores de cadmio presentes en el grano de Cebada se encuentran dentro de los rangos permitidos.

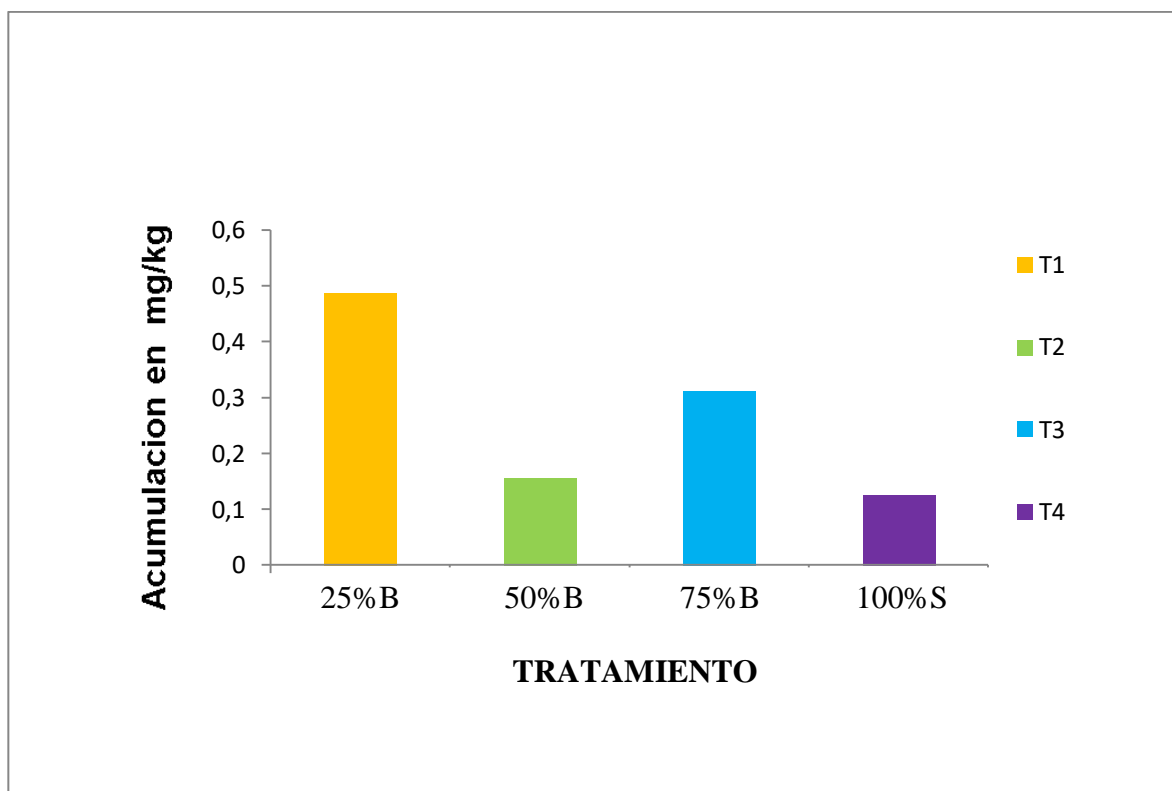
### 6.17.2. Bioacumulación de Cromo



**Gráfica 18. Acumulación de Cromo (ppm) en los diferentes tratamientos**

La acumulación de cromo fue similar en todos los tratamientos T1 (0.05) T2 (0.05) T3 (0.05) y T4 (0.04). Según la USEPA el valor permitido de cromo en el biosólido no es regulado, siendo el valor promedio de cromo presente en el biosólido en la Ptar el salitre de 92.2 mg/kg. Con respecto a los alimentos la UE dio a conocer un documento en el cual señala que los valores permitidos de cadmio en cereales es de 0.10mg/kg, por lo anterior se infiere que los valores de cromo presentes en el grano de *Cebada (Hordeum vulgare)* se encuentran dentro de los rangos permitidos.

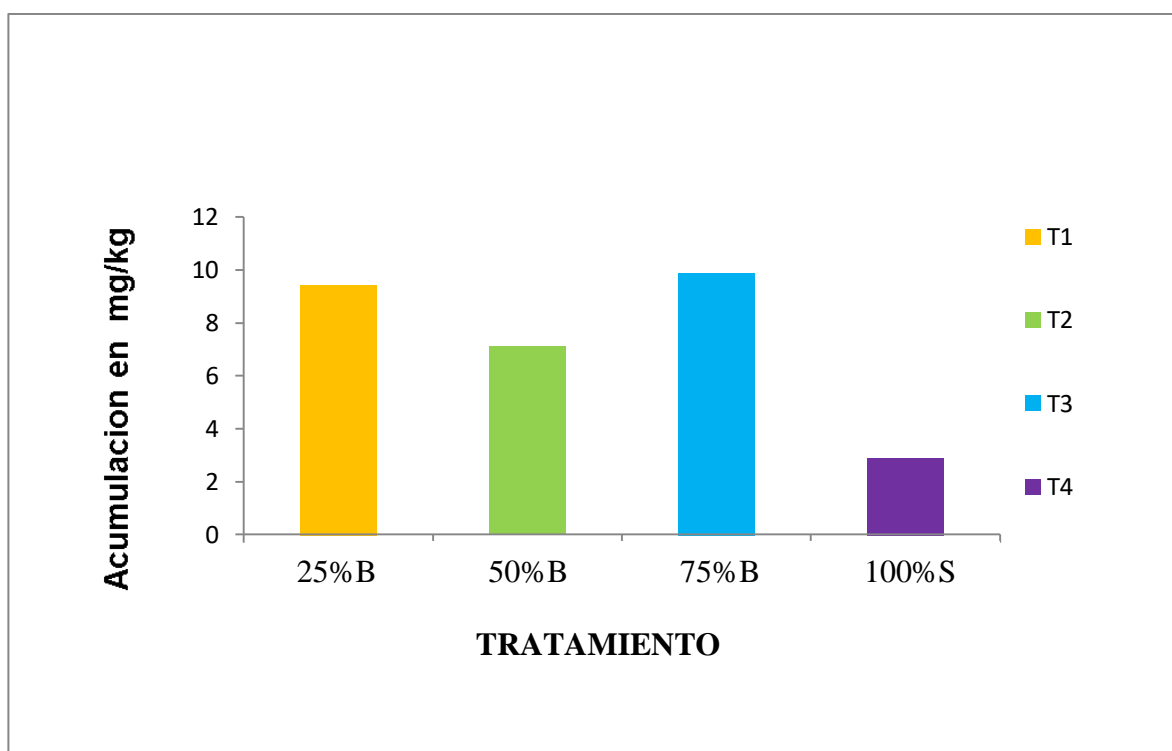
### 6.17.3. Bioacumulación de Níquel



**Gráfica 19. Acumulación de Níquel (ppm) en los diferentes tratamientos**

La acumulación de Níquel fue mayor en los tratamientos T1 (0,487) y T3 (0,31) a diferencia de T2 (0,154) y T4 (0,125) que reportaron valores menores. Según la USEPA el valor permitido de níquel en el biosólido es de 420 mg/kg, siendo el valor promedio de níquel presente en el biosólido en la Ptar el salitre de 45.1 mg/kg. Con respecto a los alimentos la UE dio a conocer un documento en el cual señala que los valores permitidos de cadmio en cereales es de 5 mg/kg, por lo anterior se infiere que los valores de Níquel presentes en el grano de *Cebada (Hordeum vulgare)* se encuentran dentro de los rangos permitidos.

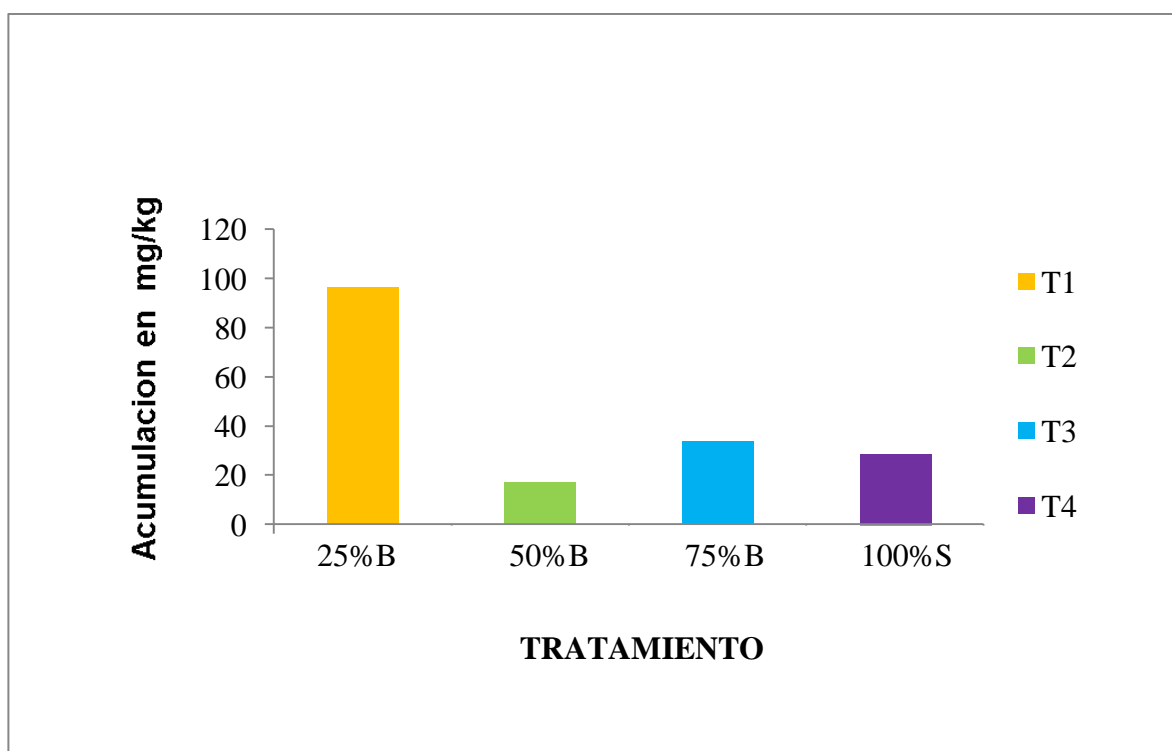
#### 6.18.4. Bioacumulación de Cobre



Gráfica 20. Acumulación de Cobre (ppm) en los diferentes tratamientos

La acumulación de Cobre fue mayor en los tratamientos T1 (9,42) y T3 (9,89) a diferencia de T2 (7,1) y T4 (2,89) que reportaron valores menores. Según la USEPA el valor permitido de Cobre en el biosólido es de 1500 mg/kg, siendo el valor promedio de Cobre presente en el biosólido en la Ptar el salitre de 158,6 mg/kg. Con respecto a los alimentos la UE dio a conocer un documento en el cual señala que los valores permitidos de cobre en cereales es de 30 mg/kg, por lo anterior se infiere que los valores de cobre presentes en el grano de *Cebada (Hordeum vulgare)* se encuentran dentro de los rangos permitidos.

### 6.18.5 Bioacumulación de plomo



**Gráfica 21. Acumulación de Plomo (ppm) en los diferentes tratamientos**

La acumulación de Plomo fue mayor en los tratamientos T1 (96.1) y T3 (33,6) a diferencia de T2 (17) y T4 (28.5) que reportaron valores menores. Según la USEPA el valor permitido de plomo en el biosólido es de 300 mg/kg, siendo el valor promedio de plomo presente en el biosólido en la Ptar el salitre es de 97.5 mg/kg. Con respecto a los alimentos la UE dio a conocer un documento en el cual señala que los valores permitidos de plomo en cereales es de 0.2 mg/kg, por lo anterior se infiere que los valores de plomo presentes en el grano de *Cebada (Hordeum vulgare)* se encuentran dentro de los rangos permitidos.

## CONCLUSIONES

- La aplicación de biosólidos en proporciones de 25%, 50% 75% y 100% no produjo diferencias significativas en la mayoría de las propiedades químicas del suelo, ni en el rendimiento del cultivo; no obstante, se observaron cambios en las propiedades físicas de las mezclas.
- Respecto a las variables fenológicas evaluadas los mejores resultados se obtuvieron con el tratamiento T1 (25% biosólido-75% suelo), lo cual demuestra que la productividad del cultivo de Cebada (*Hordeum vulgare*) depende, entre otros factores, de la concentración de biosólido, ya que a concentraciones alta dicho cultivo presenta sensibilidad a la acidez, debido a los niveles de aluminio presente en el biosólido
- Los resultados de los análisis de la concentración de metales pesados en el grano de Cebada (*Hordeum vulgare*), se encuentran dentro de los niveles establecidos por la Agencia de protección ambiental de los Estados Unidos, EPA. Siendo el tratamiento T2 (25% biosólido-75% suelo) el que reporto la concentración más baja de metales pesados.
- Los niveles de concentración de metales pesados en la Cebada (*Hordeum Vulgare*) comercial, son similares a los de los tratamientos evaluados.
- En concentraciones moderadas, el biosólido puede usarse como abono orgánico en la agricultura en otros cultivos, debido a su contenido de nutrientes y materia orgánica.

## RECOMENDACIONES

- Realizar trabajos similares con otras gramíneas y leguminosas a fin de comprobar si los metales pesados pasan del sistema digestivo de los rumiantes a los diferentes tejidos.
- Analizar suelos tratados con el biosólido luego de ser vertidos a los 6 meses 1 año dos años para verificar la presencia de metales pesados
- Analizar si en cultivos usando como sustrato biosólidos existe presencia de patógenos
- Investigar si existe algún tratamiento que elimine la trazabilidad de metales pesados en el biosólido para que se pueda ser usado sin ninguna restricción

## BIBLIOGRAFÍA

ADAME (Agence de l'environmental et de la maitrise de l' Energie). 2001. Le bouses D'epuration municipales. Los biosólidos del tratamiento de aguas residuales municipales y su utilización en la agricultura, publicado por la agencia del medio ambiente y de la energía de Francia.

AGUILERA, S.M., 2000. Importancia de la protección de la materia orgánica en suelos. Simposio Proyecto Ley Protección de Suelo. Boletín N° 14. Valdivia, Chile, p. 77-85.

Arriero L. 2008. Diagnóstico del componente forestal en el relleno sanitario de doña Juana. Universidad Sergio Arboleda

BARBER, S.A. 1995. Soil nutrient bioavailability; a mechanistic approach. John Wiley y Sons. New York. 414 p.

Bernier R. 2002. Análisis de suelo, metodología e interpretación. Centro regional de Investigación Remehue, Instituto de investigaciones agropecuarias

Blanco, V., Bastein, B. (1994). Citado por Carhuaricra Rosales Jorge Eduardo. Universidad Estatal de Bolívar. Facultad de Ciencias Agropecuarias Recursos Naturales y del Ambiente. Escuela de Ingeniería Agronómica. "Caracterización Morfo Agronómica de 10 Accesiones de Cebada de Grano Desnudo (*Hordeum vulgare* L.) En La Granja Laguacoto III, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar". TESIS. INIAP Santa Catalina Programa de Cereales. Guaranda – Ecuador. 2013

CASTRO, H.; GÓMEZ, M. 2010. Fertilidad de suelos y Fertilizantes. En: Burbano, H.; Mojica, F. (eds.). Ciencia del Suelo. Principios básicos. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Bogotá, Colombia. p. 213-303.

Casas R. 2011. El suelo de cultivo y las condiciones climáticas. Pag 36

Chávez R. 2015. Comparación de dos métodos de determinación de la capacidad de intercambio catiónico en suelos de la región central de Honduras. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano Honduras

CIMMYT. (2007). Manual de Metodología sobre las enfermedades de los cereales. México. P. 46.

Cobertera, E. (1993). Edafología aplicada (p. 326). Madrid: Ediciones Cátedra S.A.

Eckert, D, J. (1987). Soil test interpretations: basic cation saturation ratios and sufficiency levels in Brown, J. R., ed. Soil testing; sampling, correlation, calibration, and interpretation, Madison, (WI, USA): 53-64

ELEMENTOS PARA UNA REGLAMENTACIÓN DE BIOSÓLIDOS Ing. Luis Alberto Jaramillo G. Bogotana de Aguas y Saneamiento (ONDEO-Suez).BOGOTANA DE AGUAS Y SANEAMIENTO SUEZ LYONNAISE DES EAUX - DEGREMONT ESP S.A 2002

Environmental Protection Agency (EPA) Nomination Guidance 2002 Biosolids Exemplary Management Awards Program For: Operating Projects, Technology Development, Research, and Public Acceptance.

FAO, 2001. Soil carbon sequestration for improved land management. World soil reports 96. Rome, 58 p.

Fassbender, H. W. 1975. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. San Jose, Costa Rica. 1ra. Edición. Talleres gráficos de Trejos Hnos. Sucs., S. A. Pág. 173, 183

FENALCE. PROTOCOLOS ENSAYOS DE GENOTIPOS DE CEBADA. Programa de Calidad ISO-9001 FENALCE. ICONTEC. 2010. Chía Colombia Pg. 1-8

FORTIN, M.-C, ROCHETTE, P., PATTEY, E., 1996. Soil carbon dioxide fluxes from conventional and no-tillage small-grain cropping systems. Soil Sci. Soc. Am. J. 60, 1541-1547.

Garrido S. 2001. Interpretación de análisis de suelos. Guía práctica para muestrear los suelos e interpretar sus análisis. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. Madrid (España).

GISPERT, C. 1998. Biblioteca Práctica Agrícola y Ganadera. Fundamentos de la Agricultura. Tomo I Pp. 29 – 35.

Harris, D. (2003). Quantitative Chemical Analysis (Sexta edición) 739 pp. New York: Freeman y Co.

HAVLIN, J. L.; BEATON, J.D.; TISDALE, S.L.; NELSON, W.L. 1999. Soil fertility and fertilizers; an introduction to nutrient management. 6. ed. Upper Saddle River (Estados Unidos), Prentice Hall. 499 p.

Hazelton, Pam. Murphy, B. (2007). Interpreting Soil Test Results: What do all the numbers mean? (Segunda edición) 151 pp. Sydney: Csiro Publishing

JACKSON, M.L., 1964. Análisis químico de suelos (Traducido por J. Bertrán). Ediciones Omega, S. A. Barcelona, España. 662 p.

JANEZ, G. (2002). Biblioteca de la Agricultura. Técnicas Agrícolas en Cultivos Extensivos. 4ta edición. Editorial Estudio Chifoni. Barcelona – España. P. 478

Lozada P. Silva J. 2007 Influencia de la aplicación de biosólidos sobre el suelo, la morfología y productividad del cultivo de caña de azúcar. Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica 18 (1): 69 – 79

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. 2000. Principios de nutrición vegetal. Traducción al español de la 4a edición (1987). Internacional Potash Institute. Basel, Switzerland. 692 p.

Molina, E. 1998. Encalado para la corrección de la acidez del suelo, ACCS, San José, Costa Rica. 45 p.

MOLINA, J.L. (1989). La Cebada. Ministerio de agricultura, pesca y alimentación. Servicio de extensión agraria. Mundi-prensa (Ed). Madrid, Barcelona.

OSPINA, J. 2004. Enciclopedia Agropecuaria Terranova Producción Agrícola Tomo II. 2da edición. Bogotá - Colombia Pp. 43 -56.

Parsons, D. (1994). Manuales para educación agropecuaria 2da edición. México: editorial trillas.

Paz C., Henríquez O. 2007. Posibilidades de aplicación de lodos o biosólidos a los suelos del sector norte de la Región Metropolitana de Santiago. *Revista de Geografía Norte Grande*, 37: 35-45

PRONTUARIO DE AGRICULTURA. (2005). cultivos agrícolas. Ministerio de agricultura, pesca y alimentación. Mundi-prensa (Ed). Madrid, Barcelona.

Ramírez R. *et al* 2007. Efecto de la aplicación de biosólidos en el crecimiento de *jacaranda mimosifolia* (gualanday) y en las condiciones físicas y químicas de un suelo degradado *Rev.Fac.Nal.Agr.Medellín* vol.60 no.1.

RAMÍREZ R. 2006. Evaluación del potencial de los biosólidos procedentes del tratamiento de aguas residuales para uso agrícola y su efecto sobre el cultivo de rábano rojo (*raphanus sativus*). *Rev.Fac.Nal.Agr.Medellín*. Vol.59, No.2. p.3543-3556. 2006.

REVISTA EPM, 2011. Evaluación de los riesgos agronómicos ambientales y sanitarios derivados de la aplicación directa de biosólidos para el cultivo de pastos en un agro ecosistema de vocación lechera del norte de Antioquia. *Medellín, Colombia*. Pág. 8 – 37.

RUTGERS COOPERATIVE EXTENSION, 2003. Land Application of sewage sludge (Biosolids): Pathogens FS 951 -958.State University of New Jersey, United States. 32p.

SADEGHIAN, S. 2012. Efecto de los cambios en las relaciones de Calcio, Magnesio y Potasio intercambiables en suelos de la zona cafetera Colombiana sobre la nutrición de café (*Coffea arabica* L.) en la etapa de almácigo. Tesis Doctorado. Agr. Medellín: Universidad Nacional del Colombia, Facultad de Ciencias Agrarias. p. 2–22.Disponible en: <http://bdigital.unal.edu.co/5723/07785/202.pdf>

SWIFT, R. S., 2001. Sequestration of carbon by soil. *Soil Sci.*, 166, 858-871.

Thompson L, Frederick R. 1998. *Los suelos y su fertilidad*. 4a edición. Pag 368

US EPA, 2008. Biosolids. <http://www.epa.gov/OWM/mtb/biosolids/503pe/index.htm>  
[Consultado: 5 de Julio de 2017.

Vélez 2006, citado por Londoño 2001. Universidad de León facultad de veterinaria departamento de medicina, cirugía y anatomía veterinaria presencia de metales pesados en hatos lecheros de los municipios de San Pedro y Entreríos, Antioquia, Colombia. Luis Fernando Londoño Franco.

Vélez Zuluaga J.A. (2007). Los biosólidos: ¿una solución o un problema? Fondo de Fomento a la Investigación de la Corporación Universitaria Lasallista a Universidad Nacional Sede Medellín.

WEF. WATER ENVIRONMENT FOUNDATION. Biosolids fact. Sheets. USA, 1998. 1 CDROM.

Zavaleta, A. (1992). Edafología: el suelo en relación con la producción. Lima: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

## **CIBERGRAFÍA**

AGROINVERSIONES, S.A. (S.F.). Manual de la Cebada cervecera. Chile. [En línea] disponible. Consultado 29 de julio de 2014 9:42 p.m.

FALGUENBAUM, H. MOUAT, P. (S.F.). Biología de los cultivos anuales. [En línea] disponible: [http://www7.uc.cl/sw\\_educ/cultivos/index.html](http://www7.uc.cl/sw_educ/cultivos/index.html)

FENALCE página web [www.fenalce.org/](http://www.fenalce.org/)

GONZÁLEZ, C. 2002. Industrias de cereales y derivados. Ed. Mundi prensa. [En línea] disponible: <http://html.rincondelvago.com/la-Cebada.html>

INFOAGRO. 2007. El cultivo de Cebada. [En línea] disponible: <http://www.infoagro.com/herbaceos/forrajes/Cebada2.htm>



## Anexo 2. Resultados de la concentración de metales pesados en los diferentes tratamientos



Código: FER-02  
Versión: 2  
Fecha: 26/01/2016

### RESULTADOS DE ANÁLISIS ALIMENTOS



INFORME DE RESULTADOS N°:		9304					
CLIENTE:	ADRIANA MARIA ARIZA	OTIZACIÓN N°:	293-2016	FECHA FABRICACIÓN:	N.E.	PRODUCTO:	CEBADA T1
NIT:	1014176802-8	FECHA VENCIMIENTO:	N.E.	LOTE:	N.E.	ESTADO:	C
TELÉFONO:	31329324221	CANTIDAD (g/ml):	250g	FECHA DE MUESTREO:	5/05/2016	T (° C) MUESTRA:	21.5°C
CONTACTO:	ADRIANA MARIA ARIZA	FECHA DE RECEPCIÓN:	5/05/2016	RESPONSABLE MUESTREO:	EL CLIENTE	TEMP. RECEPCIÓN:	18°C
CARGO:	N.E.	TIPO DE EMPAQUE:	PLASTICO	PUNTO DE CAPTACIÓN/ Orden de servicio cliente:	N.E.		
DIRECCIÓN:	CARRERA 107A No. 143-31	ALMAC. CONTRAMUESTRA:	Análisis FQ: 15 días	Análisis MB: 24 horas			
CIUDAD:	BOGOTA						
ID. MUESTRA:	16-2468						
ODS:	16-901						

#### Fisicoquímica

FECHA DE ANÁLISIS	PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDADES	TÉCNICA ANALÍTICA	MÉTODO	INVIMA Granos de Cereales (Arroz, Maiz, Cebada, Cuchuco)
5/05/2016	Cromo (Cr)	<0,05	mg Cr/Kg	Calcinación a 550°C-Espectroscopia de Absorción Atómica	AOAC 985.35	No Especifica
5/05/2016	Cadmio (Cd)	<0,002	mg Cd/Kg	Calcinación a 550°C-Espectroscopia de Absorción Atómica	AOAC 985.35	No Especifica
5/05/2016	Cobre (Cu)	9,42	mg Cu/Kg	Calcinación a 550°C-Espectroscopia de Absorción Atómica	AOAC 985.35	No Especifica
5/05/2016	Plomo (Pb)	96,1	mg Pb/Kg	Calcinación a 550°C-Espectroscopia de Absorción Atómica	AOAC 985.35	No Especifica
5/05/2016	Níquel (Ni)	0,487	mg Ni/Kg	Calcinación a 550°C-Espectroscopia de Absorción Atómica	AOAC 985.35	No Especifica

- Este informe de resultados no se puede reproducir y solo aplica para los resultados de la muestra analizada en el Laboratorio de Fisicoquímica de Biopolab.  
- Cualquier inquietud o reclamación puede ser presentada a nuestra compañía ya sea vía telefónica o al correo e inmediatamente será atendida.  
- La muestra será almacenada 15 días para eventuales repeticiones o inquietudes con los análisis y resultados.

Documento aprobado por:

Javier Eduardo Muñoz Torres  
Director Técnico Alimentos  
P. Químico de Alimentos. Matrícula Profesional PQA-495

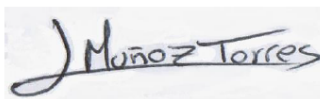
Fecha de expedición: 14/05/2016

RESULTADOS DE ANÁLISIS ALIMENTOS

INFORME DE RESULTADOS N°: 9305							
CLIENTE:	ADRIANA MARIA ARIZA						
NIT:	1014176802-8	COTIZACIÓN N°:	293-2016	FECHA FABRICACIÓN:	N.E.	PRODUCTO:	CEBADA T2
TELÉFONO:	31329324221			FECHA VENCIMIENTO:	N.E.	LOTE:	N.E.
CONTACTO:	ADRIANA MARIA ARIZA			CANTIDAD (g/mL):	250g	ESTADO:	C
CARGO:	N.E.			FECHA DE MUESTREO:	5/05/2016	T (° C) MUESTRA:	21.5°C
DIRECCIÓN:	CARRERA 107A No. 143-31			FECHA DE RECEPCIÓN:	5/05/2016	RESPONSABLE MUESTREO:	EL CLIENTE
CIUDAD:	BOGOTÁ			TIPO DE EMPAQUE:	PLASTICO	TEMP. RECEPCIÓN:	18°C
ID. MUESTRA:	16-2469			PUNTO DE CAPTACIÓN/	Orden de servicio cliente:		N.E.
ODS:	16-901			ALMAC. CONTRAMUESTRA:	Análisis FQ: 15 días	Análisis MB: 24 horas	
Físicoquímica							
FECHA DE ANÁLISIS	PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDADES	TÉCNICA ANALÍTICA	MÉTODO	INVIMA Granos de Cereales (Arroz, Maiz, Cebada, Cuchuco)	
5/05/2016	Cromo (Cr)	<0,05	mg Cr/Kg	Calcinación a 550°C-Espectroscopia de Absorción Atómica	AOAC 985.35	No Especifica	
5/05/2016	Cadmio (Cd)	<0,002	mg Cd/Kg	Calcinación a 550°C-Espectroscopia de Absorción Atómica	AOAC 985.35	No Especifica	
5/05/2016	Cobre (Cu)	7,10	mg Cu/Kg	Calcinación a 550°C-Espectroscopia de Absorción Atómica	AOAC 985.35	No Especifica	
5/05/2016	Plomo (Pb)	17,0	mg Pb/Kg	Calcinación a 550°C-Espectroscopia de Absorción Atómica	AOAC 985.35	No Especifica	
5/05/2016	Niquel (Ni)	0,154	mg Ni/Kg	Calcinación a 550°C-Espectroscopia de Absorción Atómica	AOAC 985.35	No Especifica	

- Este informe de resultados no se puede reproducir y solo aplica para los resultados de la muestra analizada en el Laboratorio de Físicoquímica de Biopolab. ☒  
- Cualquier inquietud o reclamación puede ser presentada a nuestra compañía ya sea vía telefónica o al correo e inmediatamente será atendida. ☒  
- La muestra será almacenada 15 días para eventuales repeticiones o inquietudes con los análisis y resultados.

Documento aprobado por:



Javier Eduardo Muñoz Torres  
Director Técnico Alimentos  
P. Químico de Alimentos. Matrícula Profesional PQA-495

Fecha de expedición: 14/05/2016

RESULTADOS DE ANÁLISIS ALIMENTOS



Acreditación IDEAM  
Resolución 1433  
Junio 24 de 2014



ALCALDIA MAYOR  
DE BOGOTÁ D.C.  
SECRETARÍA DE  
SALUD DE BOGOTÁ



INSTITUTO  
NACIONAL DE  
SALUD

INFORME DE RESULTADOS Nº:			9306					
<b>CLIENTE:</b>	ADRIANA MARIA ARIZA		<b>COTIZACIÓN Nº:</b>	293-2016	<b>FECHA FABRICACIÓN:</b>	N.E.	<b>PRODUCTO:</b>	CEBADA T3
<b>NIT:</b>	1014176802-8				<b>FECHA VENCIMIENTO:</b>	N.E.	<b>LOTE:</b>	N.E.
<b>TELÉFONO:</b>	31329324221				<b>CANTIDAD (g/mL):</b>	250g	<b>ESTADO:</b>	C
<b>CONTACTO:</b>	ADRIANA MARIA ARIZA				<b>FECHA DE MUESTREO:</b>	5/05/2016	<b>T (º C) MUESTRA:</b>	21.5°C
<b>CARGO:</b>	ESTUDIANTE				<b>FECHA DE RECEPCIÓN:</b>	5/05/2016	<b>RESPONSABLE MUESTREO:</b>	EL CLIENTE
<b>DIRECCIÓN:</b>	CALL M64C N 81A-57				<b>TIPO DE EMPAQUE:</b>	PLASTICO	<b>TEMP. RECEPCIÓN:</b>	18°C
<b>CIUDAD:</b>	BOGOTÁ				<b>PUNTO DE CAPTACIÓN/ Orden de servicio cliente:</b>	N.E.		
<b>ID. MUESTRA:</b>	16-2470				<b>ALMAC. CONTRAMUESTRA:</b>	Análisis FQ: 15 días	Análisis MB: 24 horas	
<b>ODS:</b>	16-901							

*Fisicoquímica*

FECHA DE ANÁLISIS	PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDADES	TÉCNICA ANALÍTICA	MÉTODO	INVIMA Granos de Cereales (Arroz, Maiz, Cebada, Cuchuco)
5/05/2016	Cromo (Cr)	<0,050	mg Cr/Kg	Calcinación a 550°C-Espectroscopia de Absorción Atómica	AOAC 985.35	No Especifica
5/05/2016	Cadmio (Cd)	<0,002	mg Cd/Kg	Calcinación a 550°C-Espectroscopia de Absorción Atómica	AOAC 985.35	No Especifica
5/05/2016	Cobre (Cu)	9,89	mg Cu/Kg	Calcinación a 550°C-Espectroscopia de Absorción Atómica	AOAC 985.35	No Especifica
5/05/2016	Plomo (Pb)	33,6	mg Pb/Kg	Calcinación a 550°C-Espectroscopia de Absorción Atómica	AOAC 985.35	No Especifica
5/05/2016	Níquel (Ni)	0,310	mg Ni/Kg	Calcinación a 550°C-Espectroscopia de Absorción Atómica	AOAC 985.35	No Especifica

- Este informe de resultados no se puede reproducir y solo aplica para los resultados de la muestra analizada en el Laboratorio de Fisicoquímica de Biopolab. ☐  
- Cualquier inquietud o reclamación puede ser presentada a nuestra compañía ya sea vía telefónica o al correo e inmediatamente será atendida. ☐  
- La muestra será almacenada 15 días para eventuales repeticiones o inquietudes con los análisis y resultados.

Documento aprobado por:

Javier Eduardo Muñoz Torres  
Director Técnico Alimentos  
P. Químico de Alimentos. Matrícula Profesional PQA-495

Fecha de expedición: 14/05/2016

INFORME DE RESULTADOS N°: 9304

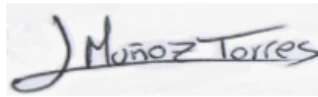
<b>CLIENTE:</b> ADRIANA MARIA ARIZA	<b>COTIZACIÓN N°:</b> 293-2016	<b>FECHA FABRICACIÓN:</b> N.E.	<b>PRODUCTO:</b> CEBADA T4
<b>NIT:</b> 1014176802-8		<b>FECHA VENCIMIENTO:</b> N.E.	<b>LOTE:</b> N.E.
<b>TELÉFONO:</b> 31329324221		<b>CANTIDAD (g/mL):</b> 250g	<b>ESTADO:</b> C
<b>CONTACTO:</b> ADRIANA MARIA ARIZA		<b>FECHA DE MUESTREO:</b> 5/05/2016	<b>T (° C) MUESTRA:</b> 21.5°C
<b>CARGO:</b> N.E.		<b>FECHA DE RECEPCIÓN:</b> 5/05/2016	<b>RESPONSABLE MUESTREO:</b> EL CLIENTE
<b>DIRECCIÓN:</b> CARRERA 107A No. 143-31		<b>TIPO DE EMPAQUE:</b> PLASTICO	<b>TEMP. RECEPCIÓN:</b> 18°C
<b>CIUDAD:</b> BOGOTÁ		<b>PUNTO DE CAPTACIÓN/ Orden de servicio cliente:</b>	N.E.
<b>ID. MUESTRA:</b> 16-2468		<b>ALMAC. CONTRAMUESTRA:</b> Análisis FQ: 15 días	Análisis MB: 24 horas
<b>ODS:</b> 16-901			

Fisicoquímica

FECHA DE ANÁLISIS	PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDADES	TÉCNICA ANALÍTICA	MÉTODO	INVIMA Granos de Cereales (Arroz, Maiz, Cebada, Cuchuco)
5/05/2016	Cromo (Cr)	0.04	mg Cr/Kg	Calcinción a 550°C-Espectroscopia de Absorción Atómica	AOAC 985.35	No Especifica
5/05/2016	Cadmio (Cd)	0.001	mg Cd/Kg	Calcinción a 550°C-Espectroscopia de Absorción Atómica	AOAC 985.35	No Especifica
5/05/2016	Cobre (Cu)	2.89	mg Cu/Kg	Calcinción a 550°C-Espectroscopia de Absorción Atómica	AOAC 985.35	No Especifica
5/05/2016	Plomo (Pb)	28.5	mg Pb/Kg	Calcinción a 550°C-Espectroscopia de Absorción Atómica	AOAC 985.35	No Especifica
5/05/2016	Niquel (Ni)	0.125	mg Ni/Kg	Calcinción a 550°C-Espectroscopia de Absorción Atómica	AOAC 985.35	No Especifica

- Este informe de resultados no se puede reproducir y solo aplica para los resultados de la muestra analizada en el Laboratorio de Fisicoquímica de Biopolab.  
- Cualquier inquietud o reclamación puede ser presentada a nuestra compañía ya sea vía telefónica o al correo e inmediatamente será atendida.  
- La muestra será almacenada 15 días para eventuales repeticiones o inquietudes con los análisis y resultados.

Documento aprobado por:



Javier Eduardo Muñoz Torres  
Director Técnico Alimentos  
P. Químico de Alimentos. Matrícula Profesional PQA-495

Fecha de expedición: 14/05/2016

### Anexo 3. Resultado concentración de metales pesados en un cultivo de Cebada (Hordeum vulgare) de tipo comercial



Código: F-ER-02  
Versión: 2  
Fecha: 26/01/2016



#### RESULTADOS DE ANÁLISIS ALIMENTOS

INFORME DE RESULTADOS N°: 9329						
<b>CLIENTE:</b>		<b>FECHA FABRICACIÓN:</b> N.E.			<b>PRODUCTO:</b> CEBADA	
<b>NIT:</b>		<b>FECHA VENCIMIENTO:</b> N.E.			<b>LOTE:</b> N.E.	
<b>TELÉFONO:</b>		<b>CANTIDAD (g/mL):</b> 500g			<b>ESTADO:</b> C	
<b>CONTACTO:</b>		<b>FECHA DE MUESTREO:</b> 5/05/2016			<b>T (° C) MUESTRA:</b> 21.5°C	
<b>CARGO:</b>		<b>FECHA DE RECEPCIÓN:</b> 5/05/2016			<b>RESPONSABLE MUESTREO:</b> EL CLIENTE	
<b>DIRECCIÓN:</b>		<b>TIPO DE EMPAQUE:</b> PLASTICO			<b>TEMP. RECEPCIÓN:</b>	
<b>CIUDAD:</b>		<b>PUNTO DE CAPTACIÓN/ Orden de servicio cliente:</b>			N.E.	
<b>ID. MUESTRA:</b>		<b>ALMAC. CONTRAMUESTRA:</b> Análisis FQ: 15 días			<b>Análisis MB: 24 horas</b>	
<b>ODS:</b>						
Microbiología						
FECHA DE ANÁLISIS	PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDADES	TÉCNICA ANALÍTICA	MÉTODO	NORMA BOLIVIANA NB NA 0038
5/05/2016	Coliformes Totales	>1000	UFC/g	Recuento en placa	NTC 4458	100-1000
5/05/2016	Escherichia coli	<10	UFC/g	Recuento en placa	NTC 4458	<10
5/05/2016	Bacillus cereus	<10	UFC/g	Aislamiento y enumeración en superficie.	AOAC 980.31	15-150
5/05/2016	Esporas Clostridium Sulfito Reductoras	<10	UFC/g	Recuento en tubos	NTC 4834	No Especifica
5/05/2016	Mesófilos Aerobios	480000	UFC/g	Recuento en placa	NTC 4519	200000-300000
5/05/2016	Mohos y Levaduras	320	UFC/g	Recuento en placa	NTC 4132	3000-5000
5/05/2016	Salmonella sp	Ausencia	Ausencia/Presencia	Detección	AOAC 969.25, 995.20	Ausencia
5/05/2016	Staphylococcus aureus Coagulasa Positiva	<100	UFC/g	Aislamiento y enumeración en superficie	AOAC 975.55, 987.09	<100
Fisicoquímica						
FECHA DE ANÁLISIS	PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDADES	TÉCNICA ANALÍTICA	MÉTODO	NORMA BOLIVIANA NB NA 0038
5/05/2016	Plomo (Pb)	<0,020	mg Pb/Kg	Calcínación a 550°C-Espectroscopia de Absorción Atómica	AOAC 985.35	No Especifica
5/05/2016	Cadmio (Cd)	<0,002	mg Cd/Kg	Calcínación a 550°C-Espectroscopia de Absorción Atómica	AOAC 985.35	No Especifica
5/05/2016	Cromo (Cr)	<0,05	mg Cr/Kg	AOAC 985.35	AOAC 985.35	No Especifica
5/05/2016	Cobre (Cu)	2,37	mg Cu/Kg	Calcínación a 550°C-Espectroscopia de Absorción Atómica	AOAC 985.35	No Especifica
5/05/2016	Níquel (Ni)	<0,002	mg Ni/Kg	Calcínación a 550°C-Espectroscopia de Absorción Atómica	AOAC 985.35	No Especifica

La muestra tomada NO CUMPLE con el parámetro microbiológico de Coliformes Totales y Fisicoquímicos sugeridos por la normatividad referenciada en la tabla anterior. Estos resultados son válidos únicamente para esta muestra recibida y analizada en el Laboratorio de Microbiología y Fisicoquímica de Biopolab Ltda.

- Este informe de resultados no se puede reproducir y solo aplica para los resultados de la muestra analizada.
- Cualquier inquietud o reclamación puede ser presentada a nuestra compañía ya sea vía telefónico, o al correo e inmediatamente sera atendida
- La muestra será almacenada 28 días para eventuales repeticiones o inquietudes con los análisis y resultados.

Documento aprobado por: