

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**

**LA MOLINA**

**FACULTAD DE CIENCIAS**



**“PRODUCCIÓN DE PELLETS DE LENTA LIBERACIÓN A PARTIR  
DE RESIDUOS DE PULPA DE CELULOSA Y POLIACRILATO DE  
SODIO”**

Presentada por:

**GIANCARLOS ARCAYO PALACIOS**

Tesis para Optar el Título Profesional de:

**INGENIERO AMBIENTAL**

Lima – Perú

2018

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**

**LA MOLINA**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**“PRODUCCIÓN DE PELLET DE LENTA LIBERACIÓN A PARTIR DE  
RESIDUOS DE PULPA DE CELULOSA Y POLIACRILATO DE SODIO”**

Presentada por:

**GIANCARLOS ARCAYO PALACIOS**

Tesis para Optar el Título Profesional de:

**INGENIERO AMBIENTAL**

Sustentada y aprobada por el siguiente jurado:

---

Mg. Sc. Juan Carlos Palma  
PRESIDENTE

---

Ph.D. Lizardo Visitación Figueroa  
MIEMBRO

---

Mg. Quím. Mary Flor Césare Coral  
MIEMBRO

---

Blgo. Juan Juscamaita Morales  
ASESOR

---

Ph.D. Guillermo Aguirre Yato  
Co - ASESOR

## **AGRADECIMIENTOS**

Un agradecimiento especial a mi asesor; Blgo. Juan Juscamaita Morales por haberme brindado el tiempo y espacio necesario para el desarrollo de la investigación, por sus sabias enseñanzas, asesorías y valiosos comentarios académicos.

Al profesor Guillermo Aguirre, por sus sabios consejos de agronomía, que hicieron posible la prueba de campo, muchas gracias.

A mis padres por su apoyo, por animarme constantemente y brindarme la fuerza necesaria para terminar la investigación.

A mis compañeros del laboratorio de Biorremediación Ambiental que hicieron interesantes y divertidos los largos días de trabajo.

A mis queridos amigos, Malory, Pold, Yasmin, por su apoyo en la ejecución de la tesis cuando no pude estar presente, les agradezco infinitamente.

A los miembros del jurado calificador; Mg. Sc. Juan Carlos Palma, Ph.D. Lizardo Visitación, Mg. Quím. Mary Flor Césare, por el apoyo brindado a lo largo de la investigación.

¡Muchas Gracias!

## ÍNDICE GENERAL

### RESUMEN

### SUMMARY

<b>I.</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>II.</b>	<b>REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	3
	2.1. INDUSTRIA PAPELERA .....	3
	2.2. EFLUENTES SOLIDOS DE LA INDUSTRIA PAPELERA.....	3
	2.3. LODOS DE LA INDUSTRIA PAPELERA.....	4
	2.4. PELIGROSIDAD DE LODOS.....	5
	2.5. ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO .....	7
	2.6. APLICACIÓN DE LODOS EN EL SUELO.....	9
	2.7. FERTILIZANTES .....	10
	2.8. FERTILIZANTES DE LENTA LIBERACIÓN .....	11
	2.9. FERTILIZANTES DE LIBERACIÓN CONTROLADA.....	13
	2.10. POLIMERO SUPERABSORBENTE .....	14
	2.11. POLIACRILATO DE SODIO .....	14
	2.12. RESIDUO INDUSTRIAL: POLIACRILATO DE SODIO – CELULOSA.....	15
	2.13. FERTILIZANTES DE LIBERACIÓN LENTA CON RETENCIÓN DE AGUA .....	15
	2.14. POLIMEROS BIODEGRADABLES.....	16
	2.15. MÉTODOS PARA EVALUAR LA LIBERACIÓN LENTA DE NUTRIENTES .....	17
	2.16. PELETIZACIÓN.....	18
<b>III.</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	19
	3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN.....	19
	3.2. MATERIALES.....	19
	3.3. MÉTODOS DE ANALISIS.....	21
	3.4. METODOLOGÍA.....	23
	3.4.1. ELABORACIÓN DE FERTILIZANTE SOLIDO (PELLET).....	23
	3.4.2. EVALUACIÓN DE LIBERACIÓN DE NUTRIENTES.....	27

3.4.3.	PRUEBA DE BIOENSAYO.....	28
3.4.4.	DISEÑO EXPERIMENTAL.....	34
3.4.5.	TRATAMIENTOS DE ESTUDIO.....	34
<b>IV.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>36</b>
4.1.	LIBERACIÓN DE NUTRIENTES.....	36
4.2.	BIOENSAYO.....	40
4.2.1.	ALTURA DE PLANTA.DE MAÍZ.....	40
4.2.2.	MATERIA SECA DE LA PARTE RADICULAR.....	43
4.2.3.	MATERIA SECA DE LA PARTE AÉREA.....	45
4.3.	ANÁLISIS DE CORRELACIÓN DE VARIABLES.....	49
<b>V.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>52</b>
<b>VI.</b>	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>54</b>
<b>VII.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>55</b>
<b>VIII.</b>	<b>ANEXOS .....</b>	<b>63</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Tipos de desechos sólidos y fuentes de fábricas de pulpa y papel .....	4
<b>Tabla 2:</b> Cantidad de residuos producidos por diferente grado de papel.....	5
<b>Tabla 3:</b> Análisis de Peligrosidad.....	6
<b>Tabla 4:</b> Alternativas de tratamiento.....	7
<b>Tabla 5:</b> Comparación de la concentración de metales pesados (mg / kg) en los lodos de fábricas de papel .....	10
<b>Tabla 6:</b> Tipos de fertilizantes de liberación lenta .....	12
<b>Tabla 7:</b> Resultados de caracterización de lodo de papel.....	22
<b>Tabla 8:</b> Dosificación de pellets y nutrientes para la prueba de campo .....	31
<b>Tabla 9:</b> Resultados de caracterización de sustrato (arena).....	31
<b>Tabla 10:</b> Descripción de tratamientos .....	35
<b>Tabla 11:</b> Prueba de Significación de Tukey al 5 por ciento - Conductividad .....	39
<b>Tabla 12:</b> Prueba de Significación de Tukey al 5 por ciento - Altura .....	42
<b>Tabla 13:</b> Prueba de Significación de Tukey al 5 por ciento - Peso seco radicular.....	45
<b>Tabla 14:</b> Prueba de Significación de Tukey al 5 por ciento - Peso seco aéreo .....	48

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Esquema de generación de lodos .....	4
<b>Figura 2:</b> Diagrama para la determinación de posibles alternativas.....	9
<b>Figura 3:</b> Flujograma general del proceso de producción del Fertilizante.....	23
<b>Figura 4:</b> Poliacrilato de sodio.....	24
<b>Figura 5:</b> Lodo de papel, Alopes forte, Poliacrilato de sodio .....	24
<b>Figura 6:</b> Trituración Nitrato de Amonio.....	24
<b>Figura 7:</b> Homogenización de insumos .....	25
<b>Figura 8:</b> Agentes ligantes .....	25
<b>Figura 9:</b> Peletización .....	26
<b>Figura 10:</b> Secado de Pellet .....	26
<b>Figura 11:</b> Evaluación de liberación de nutrientes a través del Shaker Incubator .....	27
<b>Figura 12:</b> Medición de conductividad .....	28
<b>Figura 13:</b> Pellets en arena de río para la prueba de campo.....	32
<b>Figura 14:</b> Semillas de maíz.....	33
<b>Figura 15:</b> Macetas instaladas para la prueba .....	33
<b>Figura 16:</b> Altura de maíz culminado el experimento .....	33
<b>Figura 17:</b> Variación de Conductividad eléctrica – Fuente Mineral... ..	36
<b>Figura 18:</b> Variación de Conductividad eléctrica – Fuente Orgánica.....	37
<b>Figura 19:</b> Variación de altura – Fuente Orgánica.....	40
<b>Figura 20:</b> Variación de altura – Fuente Mineral .....	41
<b>Figura 21:</b> Variación de materia seca radicular – Fuente Orgánica.....	43
<b>Figura 22:</b> Variación de materia seca radicular – Fuente Mineral.....	44
<b>Figura 23:</b> Variación de materia seca aérea – Fuente Orgánica.....	46
<b>Figura 24:</b> Variación de materia seca aérea – Fuente Mineral.....	47

<b>Figura 25:</b> Correlación de conductividad vs Altura (Fuente Orgánica) .....	49
<b>Figura 26:</b> Correlación de conductividad vs Altura (Fuente Mineral).....	49
<b>Figura 27:</b> Correlación de conductividad vs Peso seco aéreo (Fuente Orgánica).....	50
<b>Figura 28:</b> Correlación de conductividad vs Peso seco aéreo (Fuente Mineral).....	50
<b>Figura 29:</b> Correlación de conductividad vs Peso seco radicular (Fuente Orgánica).....	51
<b>Figura 30:</b> Correlación de conductividad vs Peso seco radicular (Fuente Mineral).....	51

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>ANEXO 1. ANÁLISIS DE CORRELACIÓN DE PEARSON.....</b>	<b>64</b>
<b>ANEXO 2. ANÁLISIS DE VARIANCIA Y PRUEBA DE TUKEY.....</b>	<b>66</b>
<b>ANEXO 3. ENSAYOS DE LABORATORIO.....</b>	<b>70</b>
<b>ANEXO 4. FICHAS TÉCNICAS.....</b>	<b>73</b>
<b>ANEXO 5. RESULTADOS DE MEDICIÓN.....</b>	<b>78</b>
<b>ANEXO 6. GALERÍA FOTOGRÁFICA.....</b>	<b>82</b>

## RESUMEN

El presente estudio evalúa la factibilidad de elaborar fertilizantes de lenta liberación en forma de pellets, a partir de residuos de lodo de papel, así como residuos de fabricación de pañal conocidos como material superabsorbente o poliacrilato de sodio, con dos tipos de fuentes de nutrientes; orgánica y mineral. Asimismo, para la elaboración del pellet se consideró tres tipos de agentes ligantes: carragenina, almidón y goma de tara al 1 por ciento la variable evaluada en la primera etapa fue la conductividad eléctrica en solución. La segunda etapa consistió en una prueba de campo donde se evaluó el efecto de los pellets en el crecimiento del maíz de la variedad PM-213. Las variables evaluadas para esta etapa fue la altura, materia seca radicular y materia seca aérea. Se empleó como diseño experimental un Diseño Completamente al Azar con tres repeticiones. Los resultados del estudio demostraron que para el pellet con fuente de nutrientes mineral el tratamiento T8 (1 por ciento de almidón) presentó menor conductividad eléctrica. Por otra parte, para fuente orgánica el mejor tratamiento fue T13 (1 por ciento de Almidón y 1 por ciento de Goma de tara). Respecto a la altura, siendo la fuente de nutrientes orgánica, el mejor tratamiento fue el T5 (1 por ciento de carragenina y 1 por ciento de goma de tara) y para el caso de fuente mineral el mejor tratamiento fue el T8 (1 por ciento de carragenina, 1 por ciento de almidón y 1 por ciento de goma de tara). Finalmente, respecto a las variables de materia seca no presentaron diferencias significativas.

**Palabras Clave:** Fertilizante, lenta liberación, poliacrilato de sodio, carragenina, almidón, goma de tara.

## ABSTRACT

The present study evaluates the feasibility of producing slow release fertilizers in the form of pellets, from paper sludge residues, as well as diaper manufacturing waste known as superaboster or sodium polyacrylate material, with two types of nutrient sources; organic and mineral. Likewise, three types of binding agents were considered for the pellet production: carrageenan, starch and tara gum at 1 percent, the variable evaluated in the first stage was the electrical conductivity in solution. The second stage consisted of a field test where the effect of the pellets on the growth of the maize of the variety PM-213 was evaluated. The variables evaluated for this stage were the height, root dry matter and aerial dry matter. A Completely Random Design with three repetitions was used as experimental design. The results of the study showed that for the pellet with a mineral nutrient source, the T8 treatment (1 percent starch) showed lower electrical conductivity. On the other hand, for organic sources the best treatment was T13 (1 percent Starch and 1 percent Tara gum). Regarding height, if the source of nutrients is organic, the best treatment was T5 (1 percent carrageenan and 1 percent tara gum) and for the case of mineral source the best treatment was T8 (1 percent carrageenan, 1 percent starch and 1 percent tara gum). Finally, with respect to dry matter variables, they did not show significant differences.

**Keywords:** Fertilizer, slow release, sodium polyacrylate, carrageenan, starch, tara gum.

## I. INTRODUCCIÓN

En el año 2014, la Municipalidad Metropolitana de Lima informó que los residuos controlados por rellenos sanitarios fue de 2 millones 846 mil toneladas lo que representó un incremento de 6,2 por ciento con respecto al 2013 (2 millones 680 mil toneladas). (INEI 2015)

Para el caso de industria de imprentas y papel los residuos sólidos a nivel de Lima metropolitana tienen por disposición final: 27,9 por ciento al reciclaje y el 19 por ciento son dispuestos en un relleno sanitario (Cayo 2004).

Los residuos de pulpa y papel incluyen lodos de aguas residuales, tratamiento de lodos calizos, sémola apagador de cal, posos del licor verde, la ceniza del horno, barros de lavado y los residuos de procesamiento de la madera. En términos de volumen, la mayoría de los sólidos o líquidos son los procedentes del tratamiento de los efluentes, aunque los residuos de madera también se producen en grandes cantidades. (Monte et al. 2009)

Sin embargo, la forma física de los lodos papeleros provenientes del tratamiento de efluentes plantea problemas en cuanto a la manipulación y eliminación de dichos residuos. Estos lodos tienen un contenido de sólidos secos de bajas necesidades, que por lo general se espesaron, y luego o bien se quema en una caldera como combustible, o tienen como disposición final en los rellenos sanitarios o vertederos. (Van Horn et al. 1997 citado por Monte et al. 2009). Debido al aumento de la producción anual de lodos de papel surge una preocupación ambiental debido a los problemas asociados con el vertido de lodos y otros residuos lo que implica la posibilidad de fugas de sustancias peligrosas en el medio ambiente, así como el aumento de costos por su disposición final. (Hao Wu et al. 2016)

Por otra parte, existen estudios donde se ha evaluado el tratamiento de los lodos papeleros como compost añadiendo fertilizantes para aumentar el nivel de nutrientes, resultando en una ruta más económica de disposición. (Monte et al. 2009).

Los abonos orgánicos como es el caso de lodos de depuradoras de aguas residuales donde el contenido de materia orgánica oscila entre 24-55 por ciento sobre materia seca. (Jiménez, 1992), se comportan y pueden ser utilizados como fertilizantes de liberación lenta, los cuales aportan poco a poco su contenido de nutrientes, logrando así una mayor eficiencia de uso por cultivo, ya que con el uso de fertilizantes de alta solubilidad puede haber pérdidas de hasta 50 por ciento e incluso superiores. (Salgado y Nuñez 2010)

Asimismo, estudios recientes han demostrado que la adopción de material superabsorbente, tiene muchas ventajas con respecto a los fertilizantes convencionales, tales como la reducción del consumo de agua de riego, la disminución de la tasa de pérdida de fertilizantes, reduciendo así la frecuencia de aplicación, y reduciendo al mínimo los posibles efectos negativos asociados con la sobredosis, resultando en una manera de reducir la pérdida de agua y de fertilizantes de nutrientes. (Xiaodi 2015)

Por lo tanto, el presente estudio tiene como objetivo principal:

- Elaborar fertilizantes sólidos (pellets) producidos a partir de la mezcla de poliacrilato de sodio, fertilizante (orgánico y mineral) y residuos de pulpa de papel con capacidad para una lenta liberación de nutrientes

Y como objetivos específicos:

- Elaborar pellet con lenta liberación de nutrientes.
- Evaluar el comportamiento de liberación de nutrientes del fertilizante sólido en medio acuoso mediante la medición de conductividad eléctrica.
- Identificar los efectos de la aplicación del fertilizante sólido en cultivos de maíz en macetas mediante bioensayos, a través de la medición de altura, peso seco aéreo y peso seco radicular.
- Realizar análisis de correlación de Pearson entre conductividad eléctrica y las variables del morfológicas del bioensayo.

## **II. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1. INDUSTRIA PAPELERA**

La producción de papel y cartón se desarrolla en dos etapas o procesos de fabricación diferenciados. En primer lugar, la producción de la pasta de papel, formada principalmente por celulosa, la cual podrá ser elaborada a partir de fibras obtenidas de la madera o de fibras de papel recuperado. A partir de esta pasta de papel, comienza el segundo proceso de producción, que consiste en la transformación de la pasta en papel y cartón propiamente dicho. (ASPAPPEL 2008). La principal fuente de fibra para la fabricación de pasta y de papel es la madera de coníferas y de especies arbóreas de hoja caduca. Fuentes secundarias son la paja de trigo, el centeno y el arroz; cañas, como el bagazo; los tallos leñosos del bambú, lino y cáñamo, y fibras de semillas, hojas y cortezas, como las del algodón, el abacá y el henequén o sisal. La mayor parte de la pasta se hace de fibra virgen, aunque la producción de papel reciclado es cada vez mayor, habiendo pasado del 20 por ciento en 1970 al 33 por ciento en 1991. (Teschke 2001)

### **2.2. EFLUENTES SÓLIDOS DE LA INDUSTRIA PAPELERA**

Los principales residuos sólidos de preocupación incluyen los lodos de tratamiento de aguas residuales (50-150 kg / t de pulpa secada al aire). Asimismo, los materiales sólidos que pueden ser reutilizadas incluyen residuos de papel, que pueden ser reciclados, así como la corteza, que se puede utilizar como combustible. (World Bank Group 1998)

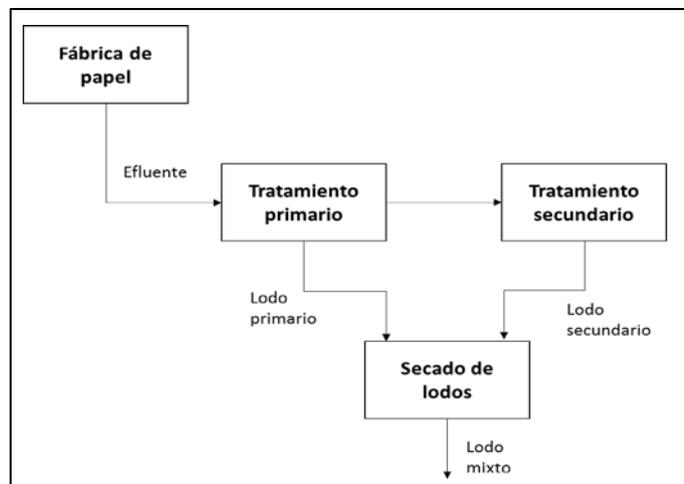
**Tabla 1.** Tipos de desechos sólidos y fuentes de fábricas de pulpa y papel

<b>Fuente</b>	<b>Tipo de Residuo</b>	<b>Características de residuo</b>
Aguas residuales de Planta de Tratamiento	Lodo	La fracción orgánica consiste en fibras de madera y lodo biológico, la fracción inorgánica consiste en arcilla, carbonato de calcio, y otros materiales, 20 – 60 por ciento de contenido de sólidos.
Proceso Caústico	Lodo	Licor verde que consiste en metales no reactivos y materiales insolubles;  lodo de cal
Caldera de Poder	Cenizas	Componentes inorgánicos
Fabricación de papel	Lodos	Residuos de color y fibra de arcilla incluyendo materia orgánica biodegradables tales como celulosa, fibras de madera y lignina

FUENTE: EPA (2002); Nurmesniemi et al. (2007)

### 2.3. LODOS DE LA INDUSTRIA PAPELERA

Convencionalmente el termino lodo es usado para residuos sólidos provenientes de la planta de tratamiento de aguas residuales, como se puede evidenciar en la figura 1.



**Figura 1:** Esquema de generación de lodos (Gary 1995)

La primera etapa elimina el lodo primario a través de la sedimentación o por flotación. El lodo así retirado de la parte inferior del tanque, es un material fibroso que normalmente, contiene entre 1,5 a 6,5 por ciento de sólidos en función de las características del material. El rebose que contiene considerable proporción de materiales nitrogenados se pasa al tratamiento secundario activado, un proceso biológico en el que los microorganismos convierten los residuos a dióxido de carbono y agua. (Pervaiz 2012) En la mayoría de los casos los efluentes de las fábricas de papel se tratan con métodos aeróbicos, donde los métodos más comúnmente utilizados son la laguna aireada y el proceso de lodos activados. Estos procesos demandan un alto consumo de energía, como es el caso para la aireación en el tratamiento biológico aeróbico donde se emplea el 80 por ciento de la energía eléctrica para el tratamiento de aguas residuales. (Hagelqvist 2013)

Existen diferentes cantidades de lodo producido por las fábricas de papel los cuales va depender de la naturaleza de los materiales empleados, tal es el caso del uso de la fibra reciclada el cual genera mayor cantidad de residuos, como se puede observar en la tabla 2.

**Tabla 2:** Cantidad de residuos producidos por diferente grado de papel

<b>Grado de papel</b>	<b>Solo madera (kg/ton)</b>	<b>Papel reciclado (kg/ton)</b>	<b>Mixto (kg/ton)</b>
Tissue	33	406	382
Papel nuevo	57	164	69
Impresión de escritura	62	187	165
Especial	45	12	11

FUENTE: Bajpai (2011)

## 2.4. PELIGROSIDAD DE LOS LODOS

Garnica (2013), determinó que los lodos no son peligrosos por corrosividad, Inflamabilidad, Reactividad y Toxicidad, según los estándares establecidos por la metodología EPA, porque cumplen con los valores límites exigidos para cada parámetro. Asimismo, para la explosividad se determinaron que los lodos papeleros no son explosivos así se encuentren en estado sólido o líquido, ya que no desprenden gases por reacciones químicas, lo cual se puede apreciar en la tabla 3.

Resulta de gran importancia para este estudio determinar si el lodo paplero es peligroso, porque al no considerarse peligroso su manejo se facilita y no requiere de tratamientos extras para darle una correcta disposición. Según Garnica (2013) y UPB (2010), para el listado Europeo de Residuos, estos lodos son reconocidos como residuos industriales no peligrosos (Aspapel 2008; Quinchia et al. 2007), porque los productos que se utilizan para elaborar papel no superan las concentraciones máximas de contaminantes para la prueba TCLP descritas en la tabla 3 del Decreto 4741 de 2005, y por los lineamientos de la EPA 40 CFR parte 261 que no supera los límites exigidos por esta reglamentación.

**Tabla 3:** Análisis de Peligrosidad

Análisis	Método	Unidades	Resultado	Incertidumbre	Límite (Regulación EPA 40, Parte 261 y Decreto 4741 de 2005)	Residuo Peligroso
Corrosividad	EPA-9040-B	Unidades de pH	8.135	+/- 0.160	No aplica	NO
Inflamabilidad	EPA-1030	mm/s	Negativo	NO	No aplica	NO
Reactividad	EPA 9012 <sup>a</sup> SM-4500-CN- D EPA-9034 SM-4500-S2-F		Negativo		No aplica	
Explosividad	Internal Ignition Test	Tiempo (m/s)	No se Realizó			
Toxicidad	SM-3500	mg As/L mg Ba/L mg Cd/L mg Cr/L mg Hg/L mg Ag/L mg Pb/L mg Se/L	0.552 0.635 0.006 0.088 0.488 0.0159 0.031 0.230	+/- 0.044 +/- 0.025 +/- 0.003 +/- 0.006 +/- 0.063 +/- 0.0006 +/- 0.001 +/- 0.009	5,0 100,0 1,0 5,0 200,0 5,0 5,0 1,0	NO

FUENTE: Garnica (2013); UPB (2010)

## 2.5. ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO

De acuerdo a las características de los lodos provenientes de este tipo de industria y una vez establecida la NO peligrosidad del material por corrosividad, inflamabilidad, reactividad, toxicidad y riesgo infeccioso (Garnica 2013), se describe a continuación diferentes alternativas para su disposición y/o tratamiento (Monte et al. 2008).

**Tabla 4:** Alternativas de tratamiento

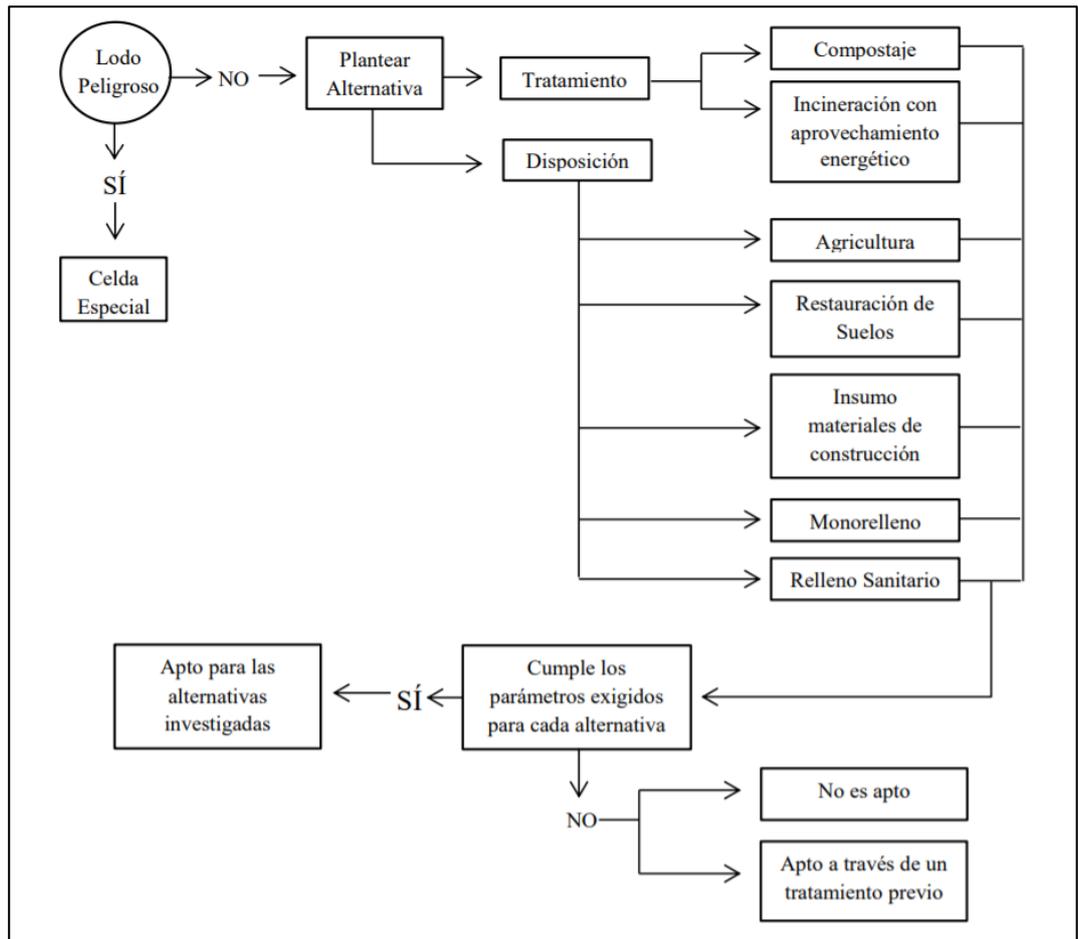
<b>TIPO</b>	<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
<b>COMPOSTAJE</b>	<p>Es la tecnología más prometedora para tratar lodos papeleros debido a los bajos costos del tratamiento.</p> <p>Reduce grandes porcentajes de masa y volumen, esto hace el compost más adecuado para el uso en el suelo.</p> <p>Velocidad de descomposición.</p> <p>Alcanza y mantiene altas temperaturas para una higienización de los agentes patógenos.</p> <p>Calidad del compost para el uso agrícola.</p>	<p>El balance inadecuado de nutrientes es un factor que puede dificultar el compostaje.</p> <p>Bajo contenido de materia orgánica y humedad.</p> <p>Se generan malos olores si se ejecuta inadecuadamente el tratamiento. Alto costo de energía para una correcta aireación</p>
<b>INCINERACIÓN</b>	<p>Alto porcentaje de lodo reducido.</p> <p>Recuperación del contenido energético del lodo a través de la incineración.</p> <p>Poca área requerida para tratar los lodos</p>	<p>Emisiones de gases contaminantes a la atmósfera.</p> <p>Alta inversión de capital en el tratamiento.</p> <p>Alta humedad y bajo poder calorífico.</p>
<b>AGRICULTURA</b>	<p>Mejora del contenido de nutrientes, la capacidad de retención de agua y la porosidad del suelo.</p> <p>Alto contenido de materia orgánica de los lodos.</p> <p>Mejora de la calidad del suelo.</p> <p>Se reduce el volumen de lodos colocado en los rellenos y para la incineración.</p> <p>Baja inversión de capital al tratamiento.</p>	<p>Altos niveles de salinidad y deficiencias del nitrógeno.</p> <p>Área requerida</p>

Continuación...

<b>INSUMO DE CONSTRUCCIÓN</b>	<p>Mayor resistencia y durabilidad del producto final.</p> <p>Se reduce la cantidad de energía utilizada para fabricar los materiales de construcción (mejor eficiencia energética)</p> <p>Incluye en su composición carbonato cálcico.</p> <p>La ceniza resultante de la incineración permanece en el producto</p>	<p>Emisiones de gases contaminantes a la atmosfera.</p> <p>Alta inversión de capital para fabricar materiales de construcción.</p> <p>Poca investigación y estudios.</p>
<b>RELLENO SANITARIO</b>	<p>Poca inversión de capital en el tratamiento y Reducción del volumen de lodos dispuestos.</p> <p>Puede ser usado en un futuro para revegetalizar el terreno donde son dispuestos los lodos</p>	<p>Problemas de estabilidad (emisiones de olores y gas)</p> <p>Capacidad disponible de rellenos son limitados.</p> <p>Grandes requerimientos de área</p>

FUENTE: Garnica (2013); Monte et al. (2008)

Según lo anterior, se infiere que el lodo de papel puede ser dispuesto directamente, sin embargo, dependiendo de la alternativa es necesario un tratamiento previo. En la figura 2 se puede visualizar un resumen de las alternativas planteadas.



**Figura 2:** Diagrama para la determinación de posibles alternativas (Garnica 2013)

## 2.6. APLICACIÓN DE LODOS EN EL SUELO

Los primeros estudios sobre la utilización de lodos de papel en la agricultura han demostrado beneficios para el aumento de crecimiento de las plantas y el rendimiento, mejorando la humedad del suelo y la retención de nutrientes. Los efectos adversos, son limitados a los altos niveles de sal (amonio de sodio y de sulfato) y las deficiencias de nitrógeno disponible en algunos tipos de lodos, los cuales se han minimizado mediante el control de las tasas de aplicación de lodos y retrasando la siembra para un cierto período después del tratamiento, y / o mediante la aplicación de fertilizantes al suelo o lodos. (Simpson et al. citado por Pervaiz (2012))

Por otra parte, el potencial de contaminación por metales pesados es una de las principales preocupaciones del público acerca de la utilización de lodos en terrenos agrícolas (Gendebien citado por Pervaiz (2012)). Generalmente el contenido de metales pesados y

compuestos tóxicos orgánicos en lodos de fábricas de papel es bajo y además son comparables a los encontrados en el estiércol de ganado (Ver tabla 5). Asimismo, las concentraciones de metales pesados en los suelos enmendados con biosólidos de fábricas de papel han sido por lo general debajo de los estándares establecidos (Baziramakenga y Simard 2001).

**Tabla 5:** Comparación de la concentración de metales pesados (mg / kg) en los lodos de fábricas de papel

<b>Metal</b>	<b>Lodo Primario</b>	<b>Lodo Secundario</b>	<b>Lodo Mixto</b>	<b>CMCS*</b>
Arsénico	0.09-1.7	0.2-0.98	<1	20
Cadmio	0.25-2.5	0.25-2.5	<1	3
Cromo	17-29	31-46	5.2-12	750
Cobalto	1-5	<1	1.5-2.5	40
Cobre	15-26	12-30	250-310	150
Plomo	1-10	4-10	8.3-10	375
Mercurio	0.02-0.2	0.14-0.25	0.57-0.87	0.8
Molibdeno	4-20	<4	2.5-3-8	5
Niquel	7-10	2-9	2.9-5.6	150
Selenio	0.5-2	0.5-2	<1	-
Zinc	26-38	30-79	130-250	600

\*CMCS Limits: Límites para la gestión de sitios contaminados en la Columbia Británica  
 FUENTE: Rashid et al. (2006)

## 2.7. FERTILIZANTES

Se define como fertilizantes a cualquier material natural o manufacturado que contiene al menos 5 por ciento de uno o más de los tres nutrientes primarios (N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O), industrialmente los minerales manufacturados se denominan fertilizantes minerales. (FAO 2002). Por lo tanto, los fertilizantes son, entonces, sustancias que proporcionan los nutrientes para las plantas o mejoran la fertilidad del suelo, ellos son el medio más efectivo para incrementar los rendimientos de los cultivos y mejorar la calidad de los alimentos. (Salgado et al. 2010)

### **2.7.1. FERTILIZANTES ORGÁNICOS**

Los fertilizantes orgánicos o abonos orgánicos son aquellos producidos con materiales de origen animal, vegetal o microbiano, donde un gran número de ellos puede ser utilizado como abono y suministro de nutrientes a las plantas. Algunos ejemplos de abonos orgánicos son; estiércoles, compostas, esquilmos, desechos de plantas agroindustriales, aguas negras y derivados, efluentes de biodigestores, entre otros. (Salgado 2010).

Sin embargo, se debe considerar criterios de calidad para escoger los abonos orgánicos, ya que puede existir toxicidad de elementos metálicos como Cu o As en los abonos de cerdo o pollo. (Alloway 1990)

### **2.7.2. FERTILIZANTES QUÍMICOS**

Son fertilizantes producidos a partir de sustancias inorgánicas u orgánicas sintéticas, mediante procesos químicos. Esto incluye los abonos individuales, fertilizantes mixtos, fertilizantes compuestos y fertilizantes orgánicos mezclados con fertilizantes químicos, pero excluye la cal blanca, marga, yeso o yeso. Cada uno de estos fertilizantes puede contener un cierto porcentaje de uno o más nutrientes, tales como el nitrógeno, fósforo y potasio. (Vasant et al. 2009).

Aunque los fertilizantes químicos se han reivindicado como el factor que más contribuye al incremento de la productividad agrícola mundial en las últimas décadas los efectos negativos de los fertilizantes químicos en el suelo y el medio ambiente limitan su uso en sistemas de agricultura sostenible. (Peyvast et al. 2008)

## **2.8. FERTILIZANTES DE LENTA LIBERACIÓN**

Se denomina así a un fertilizante que contiene un nutriente para las plantas en una forma que retrasa su disponibilidad para la absorción de la misma, así como el uso después de la aplicación, o que su disponibilidad para la planta es significativamente más larga a diferencia de los fertilizantes con disponibilidad de nutrientes inmediatos tal como; nitrato de amonio o urea, fosfato de amonio o cloruro de potasio. Este retraso de la disponibilidad inicial o tiempo prolongado de disponibilidad puede producirse por una variedad de mecanismos.

Estos incluyen la solubilidad controlada de agua del material en recubrimientos semipermeables, oclusión, materiales de proteínas, u otras formas químicas, por hidrólisis lenta de compuestos de bajo peso molecular solubles en agua, o por otros medios. (Trenkel 2010).

Los fertilizantes de liberación lenta pueden obtenerse por tres vías (Jiménez 1992):

**Tabla 6:** Tipos de fertilizantes de liberación lenta

<b>Tipo de fertilizantes</b>	<b>Definición</b>
Productos Recubiertos	Fertilizantes convencionales, a cuyos gránulos se le ha dotado de una cubierta insoluble o poco soluble al agua. Se trata de una barrera física que aminora la velocidad de penetración del agua hacia el interior del grano y con ello la liberación de la sal soluble. Los recubrimientos deben ser inactivos, biodegradables, no tóxicos y efectivos para que su proporción en relación con el fertilizante sea baja.
Productos de Baja Solubilidad	Consiste en preparar especies orgánicas o inorgánicas de baja solubilidad, de manera que se requieran volúmenes de agua elevados para conseguir una disolución total. Los productos orgánicos más difundidos son los condensados de urea con aldehídos, formaldehído, isobutil-aldehído, etc., que se descomponen en el suelo por acción química o biológica liberando nitrógeno en forma amoniacal. En el caso de inorgánicas existen los fosfatos dobles de amonio y un metal como magnesio y hierro.  Asimismo, se consideran a ciertos residuos de origen agrario o urbano que contienen nutrientes y son liberados en forma gradual, estos residuos requieren de un tratamiento previo.

Continuación...

Productos que Controlan la Actividad Microbiana	Consiste en incorporar a los fertilizantes convencionales sustancias que inhiben los procesos de nitrificación o de desnitrificación. En el caso de la nitrificación se emplea la nitraforina, el disulfuro de carbono, la urotropina, etc. Para la desnitrificación se emplean cepas de bacterias promotoras de nitrificación que entran en competencia con las desnitrificantes con el resultado de disminuir las pérdidas de nitrógeno por esta causa.
---	---

FUENTE: Jiménez (1992)

Para el caso de abonos de liberación lenta de procedencia orgánica, va a depender de los siguientes factores; pH, conductividad eléctrica, capacidad de cambio, capacidad quelante, contenido en reguladores de crecimiento y en aminoácidos, extracción de contaminantes fijados, entre otros (Jiménez 1992).

## **2.9. FERTILIZANTES DE LIBERACIÓN CONTROLADA**

Las características que le confieren a este grupo la denominación de “controlada” se refieren a los nutrientes contenidos en el centro, la composición especial del recubrimiento hecho de resinas poliméricas y el control exhaustivo de su grosor. El cual una vez manufacturado su tasa de liberación sólo depende del agua en torno al gránulo y de la temperatura ambiente; el mecanismo de liberación de nutrientes se logra en dos etapas, una vez aplicado el producto en el suelo o sustrato y expuesto a humedad, el vapor de agua infiltra en el gránulo de fertilizante que contiene la sal completamente soluble y crea una solución concentrada con alta presión osmótica, la cual lleva a la solución de fertilizante a través de los microporos del recubrimiento hasta el suelo o sustrato.(Redagícola 2016)

## **2.10. POLÍMERO SUPERABSORBENTE (SAP)**

Estos polímeros son capaces de absorber más de 1500 gramos de agua por gramo de polímero superabsorbente (SAP por sus siglas en inglés), por lo cual la primera aplicación de estos fue en pañales, químicamente están compuestos por polielectrolitos los cuales empiezan a hincharse en contacto con el agua o soluciones acuosas resultando en la formación de hidrogel. (Mechtcherine, 2012).

Asimismo, los polímeros súper absorbentes se utilizan en el suelo para crear una reserva de agua, cerca de la zona de la rizosfera (raíces) y beneficiar de esta manera a la agricultura. (Zohuriaan-Mehr citado por Lixia Yang et al. 2014)

Por otra parte, existen estudios donde se ha informado de que los SAP podrían reducir los efectos dañinos de estrés por sequía en las plantas y por lo tanto mejorar el crecimiento de las mismas. (Arbona et al. citado por Fan Ruqin et al. 2015)

Sin embargo, la eficacia de absorción de agua y nutrientes por los SAP es significativamente más baja en el agua salina que en agua destilada. Con frecuencia se informó de que la eficiencia de los SAP disminuye con un aumento en la salinidad del suelo que da lugar a una reducción de la capacidad de retención de agua. (Taylor citado por Fan Ruqin et al. 2015)

Estudios anteriores sobre SAP se han centrado en sus efectos sobre determinadas propiedades físicas y químicas del suelo, tales como el pH, la conductividad eléctrica (CE) y el contenido de agua del suelo, para el control de la erosión del suelo y la gestión del riego y para estudiar los efectos sobre el crecimiento y producción de plantas. (Xi Li et al. 2014)

## **2.11. POLIACRILATO DE SODIO**

El poliacrilato de sodio en forma de hidrogel es un polielectrolito conformado por acrilatos, estos son ésteres que contienen grupos vinílicos, es decir, dos átomos de carbono unidos por un doble enlace. La capacidad de absorción está fuertemente ligada a la presencia de iones en el medio acuoso, los cuales alteran el potencial químico desplazando el equilibrio de absorción, en agua desionizada este adquiere su mayor capacidad de retención. (Katime et al. citado por Mosquera 2012). Estos materiales sintéticos pueden llegar a absorber más de 1000 veces su propio peso por lo cual se desean como agentes de retención de agua para el cultivo de plantas, o de uso médico, tales como pañales desechables, tampones, toallas sanitarias y similares. (Fengjun Hu et al. 2001)

La aplicación de poliacrilato de sodio en todo el perfil del suelo aumenta la capacidad de almacenamiento de agua en la superficie, y luego la cantidad de evaporación aumenta en consecuencia. Por lo tanto, se recomienda aplicarlo en la zona de raíz bajo la superficie del suelo. Por un lado, es beneficioso para la infiltración de agua desde la superficie del suelo a la zona de la raíz, y, por otra parte, es útil para disminuir el contenido de agua de la superficie del suelo y, además, para reducir la evaporación. (Wenhua Zhuang et al. 2013)

## **2.12. RESIDUO INDUSTRIAL: POLIACRILATO DE SODIO – CELULOSA**

En el proceso de manufactura de pañales se obtiene como residuo una mezcla de las materias primas principales como lo son el poliacrilato de sodio y celulosa, los cuales una vez recolectados, son compactados a modo de briquetas con un peso de 600 gramos. (Borda 2013)

## **2.13. FERTILIZANTES DE LIBERACIÓN LENTA CON RETENCIÓN DE AGUA**

Es una nueva tendencia en la investigación internacional de fertilizantes, y recientemente una tendencia creciente a la regulación de agua y nutrientes, todo en un fertilizante, el cual consiste en la combinación de polímeros superabsorbentes (SAP), y fertilizantes. Debido al uso comercial del SAP, el costo del producto resulta alto. (HE Xu-Shen et al. 2007). Por otra parte, las pruebas de polímeros superabsorbentes para aplicaciones agrícolas han mostrado resultados alentadores, ya que se ha observado que ayudan a mejorar la utilización del agua, reducir el consumo de agua de riego, reducir la tasa de mortalidad de las plantas, así como mejora la retención de fertilizante en el suelo, y el aumento de las tasas de crecimiento de las plantas. (Mingyu et al. 2005)

Asimismo, los superabsorbentes han sido reportados como buenos materiales de acondicionamiento del suelo. Se pueden utilizar en la agricultura para mejorar la capacidad de retención de humedad del suelo; por lo tanto, la germinación de semillas y plantas de crecimiento puede ser promovida. Por otra parte, se ha encontrado que los superabsorbentes son eficaces en el aumento de la infiltración del suelo y la reducción de la escorrentía y la erosión del suelo. (Falu Zhan et al. 2004)

## 2.14. POLIMEROS BIODEGRADABLES

Se han utilizado varios polímeros en el revestimiento de fertilizantes; como aquellos que podrían ser termoendurecibles, termoplásticos o biodegradables. Hasta ahora, los polímeros naturales se han utilizado para sustituir a los sintéticos por el hecho de que son baratos, pueden controlar la erosión del suelo, y tienen baja toxicidad y excelente biodegradabilidad. Básicamente, los polímeros naturales son mejores a los polímeros sintéticos debido a su estructura macroscópica y molecular altamente organizada, que a su vez aumenta su fuerza y biocompatibilidad. Básicamente, existen tres tipos de polímeros naturales ampliamente utilizados en los sistemas de liberación controlada. Estos son neutros, por ejemplo, hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC), catiónicos, por ejemplo, quitosan, y polímeros aniónicos, por ejemplo,  $\kappa$ -carragenina y alginato sódico.

### **Carragenina:**

Se trata de un polisacárido formador de gel aniónico de alto peso molecular natural que se produce de forma natural, extraído de ciertas especies de algas rojas (Rhodophyceae) tales como *Chondrus crispus*, *Eucheuma*, *Gigartina stellata* e *Iridaea*. Se compone de las unidades repetidas de galactosa y 3,6 anhidrogalactosa. Dependiendo del grado de sulfatación, se clasifican en varios tipos:  $\iota$ - (monosulfato),  $\kappa$ - (di-sulfato) y  $\lambda$ -carragenano (tri-sulfato).  $\iota$  y  $\kappa$ -carragenano forman gel mientras que el  $\lambda$ -carragenano altamente sulfatado es un agente espesante y no forma gel, lo que influye en su cinética de liberación. (Hezaveh et al. 2013)

### **Almidón:**

El almidón es uno de los polímeros más abundantes en la naturaleza y consiste de unidades de glucosa  $(C_6H_{10}O_5)_n$  con n desde 300 hasta 1000. Este material está compuesto por una mezcla de dos polímeros, amilosa y amilopectina. La amilosa es un 17 polímero lineal con un peso molecular menor a 0.5 millones de Dalton, dependiendo de su origen botánico. Las macromoléculas de amilosa consisten de unidades  $\alpha$ -Dglucopiranosas unidas por enlaces acetal  $\alpha$ -1,4. Las moléculas de amilopectina son mucho más largas y ramificadas con pesos moleculares entre 50-100 millones de Dalton. Las moléculas contienen enlaces lineales  $\alpha$ -1,4 y ramificaciones  $\alpha$ -1,6. (Cui S. 2005)

## **2.15. METÓDOS PARA EVALUAR LA LIBERACIÓN LENTA DE NUTRIENTES**

De acuerdo a Luther et al. (2012), entre los principales métodos tenemos:

### **Mediciones de conductividad eléctrica**

La determinación de los nutrientes puede simplificarse utilizando la conductividad eléctrica en la solución como indicador de la concentración de nutrientes. Aunque este enfoque es menos preciso en un nivel individual de nutrientes ya que la CE se comporta más como un promedio sobre los nutrientes, su simplicidad y velocidad de prueba es ventajosa para algunos sistemas como los gránulos NPK recubiertos a base de nitrato de amonio como principal componente nitrogenado. (Terlingen et al. 2014). La liberación de nutrientes de los gránulos en agua se determina midiendo la EC en diferentes tiempos dependiendo de la velocidad de liberación.

### **Método de incubación estándar (TCIM)**

El método estándar TCIM incuba en un vaso de precipitado que contiene el fertilizante de lenta liberación y agua [es decir, 12,5: 250, 5: 33,3 y 1:50 (gramos de fertilizante: mililitros de agua)] a una temperatura constante de 25°C. Los tiempos de incubación se basan en la liberación del fabricante (4 meses de liberación), o en base a objetivos de investigación tales como medir la liberación hasta que se libera el 100 por ciento del nutriente analizado (Dai et al. 2008). Típicamente, el fertilizante permanece estático durante la incubación. Sin embargo, el método estándar europeo incuba el fertilizante de lenta liberación con agitación a 25°C. (Pérez García et al. 2007).

### **Métodos en columnas**

Los estudios en columnas usan columnas que miden 30 cm de largo y 5 a 7,5 cm de diámetro (Sartain et al. 2004). Uno de los extremos de la columna, que se considera el fondo, se fija con malla o gasa, luego se coloca en un embudo, depósito o tapa. Sartain et al. (2004) incluyó una trampa de amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) en la parte superior de la columna para cubrir  $\text{NH}_3$ . Una muestra de 5 gramos del fertilizante se coloca 5 cm por debajo de la superficie del medio. El método de columna estándar utiliza arena lavada con ácido clorhídrico para reducir la probabilidad de retención de nutrientes por el medio. (Broschat y Moore 2007; Huett y Gogel 2000). Engelsjord et al. (1996) utilizaron turba para llenar las columnas; Sin embargo, la mineralización de turba afectó los resultados de la liberación de Nitrógeno. Sartain et al.

(2004) llenaron las columnas con 95 por ciento de arena de cuarzo no revestida y 5 por ciento de capa superficial (arena) para la actividad biológica para convertir la urea en nitrato. Las columnas son lixiviadas a diferentes frecuencias y volúmenes de agua dependiendo del objetivo de la investigación y del tamaño de la columna. Broschat and Moore (2007) lixiviaron las columnas tres veces por semana utilizando 80 y 50 ml de agua, respectivamente. El lixiviado se recogió una vez por semana durante 53 semanas (Huett y Gogel 2000). Por el contrario, Broschat y Moore (2007) recogieron lixiviados semanalmente hasta que todas las concentraciones de nutrientes de lixiviado fueron menores de 3 ppm.

### **Método de bolsas de plástico**

Las bolsas de plástico con cremallera se llenan con 3,5 a 8,8 onzas de suelo y una muestra de fertilizante se incuba a temperatura ambiente (Cahill et al. 2010, Sartain et al. 2004). Cahill et al. (2010) encontraron una alta variación entre los resultados de la urea revestida con polímero, la urea revestida con fosfato, la urea granular y el nitrato de urea y amonio incubadas usando este método. Según Sartain et al. (2004), después del período de incubación deseado, se retiró el suelo de las bolsas, se colocó en embudos diseñados específicamente y se lixivió con 200 ml de agua desionizada (DI) a vacío. Se analizó el lixiviado de nitrógeno y nitrógeno amoniacal. Cuando se abrieron las bolsas, se observó un fuerte olor a amoníaco en algunas bolsas. Además, el color del lixiviado varió según la fuente N. La recuperación fue muy pobre incluso para las fuentes de N solubles (máximo 60 por ciento).

### **2.16. PELETIZACIÓN**

Se entiende por peletización a un proceso de aglomeración que convierte un sólido pulverulento o gránulos de principios activos y diferentes excipientes en pequeñas unidades esféricas o semiesféricas de flujo libre conocidas como pellets. El rango del tamaño de partícula de los pellets está comprendido entre 0.5 y 1.5mm., aunque pueden ser preparados otros tamaños en función de la tecnología empleada durante el proceso de producción (Almeida, 2014). Los pellets son formas multiparticulares que no sólo presentan aplicaciones en el campo de la industria farmacéutica ya que también son utilizados por las industrias alimentaria y agrícola, a modo de ejemplo, en el último caso se recurre a estas formas para la elaboración de fertilizantes y herbicidas. (Almeida, 2004)

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN**

El presente trabajo de investigación se realizó en las instalaciones del Laboratorio de Biotecnología Ambiental y Biorremediación del Departamento de Biología de la Facultad de Ciencias de la UNALM, Lima-Perú. Asimismo, el bioensayo se ejecutó en el área experimental del laboratorio de Fertilidad del Suelo de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

#### **3.2. MATERIALES**

##### **Matriz Sólida:**

##### **Lodos de la industria papelera**

Lodo proveniente del tratamiento de aguas residuales de la fabricación de papel, donado por la empresa Protisa Perú. [Ver Anexo 3]

##### **Absorbente de humedad:**

##### **Poliacriato de Sodio**

Residuo industrial, en forma de briquetas con composición química a base de celulosa y poliacrilato de sodio, donado por la empresa Kimberly Clark.

### **Fuente de nutrientes:**

Para el experimento se consideró dos fuentes de nutrientes: Fertilizante Orgánico; Fertilizante líquido – Alopes Forte- de última generación que se obtiene a partir de la Anchoveta, obtenido por procesos biológicos usando microorganismos GRAS (Generalmente aceptados como Seguros). Fertilizante Químico; Nitrato de amonio, Fertilizante nitrogenado con una formula comercial de 33-3-0. [Ver Anexo 4]

### **Agentes ligantes:**

#### **Carragenina:**

La carragenina son biopolímeros originados de procesos de extracción y precipitación alcohólica de algas marinas rojas (clase de las Rhodophyceae), el cual puede ser utilizado como agente ligante mejorando la solidez del pellet.

#### **Goma de tara:**

La goma de tara es una goma natural que se usa como agente espesante. Es un carbohidrato polimerizado comestible, útil como espesante con agua y como reactivo de adsorción y ligador de hidrógeno con superficies minerales y celulósicas.

#### **Almidón de yuca:**

Es un polisacárido extracelular producido por la bacteria *Xanthomonas campestris*, sus características son muy favorables para la economía de operaciones donde se la usa como espesante.

### **MATERIALES Y EQUIPOS**

- Trituradora de carne (Para la peletización)
- Balanza de precisión PCE-BSH 10000
- Estufa
- Libreta de apuntes
- Cámara fotográfica
- Conductímetro portátil, marca Hanna HI 86333
- Shaker Incubator modelo TOU – 50 /1 20 Series

## **MATERIALES PARA EL BIOENSAYO**

- Semillas de maíz variedad PM - 213
- Macetas de plástico de 3 kilogramos
- Arena lavada de río
- Balanza de precisión PCE-BSH 10000
- Superfosfato Triple, Cloruro de Potasio

### **3.3. MÉTODOS DE ANÁLISIS**

Los análisis de materia orgánica especial (agronómico) y de metales pesados del residuo paplero, se realizó en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes (LASPAF) de la Facultad de Agronomía de la UNALM, dicho análisis consiste en evaluar el pH, sólidos totales, materia orgánica en solución, macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, y Na), micronutrientes (Fe, Cu, Zn, Mn y B) y metales pesados (Pb, Cd y Cr), lo cual se puede apreciar en la tabla 7.

**Tabla 7:** Resultados de Caracterización de Lodo de papel

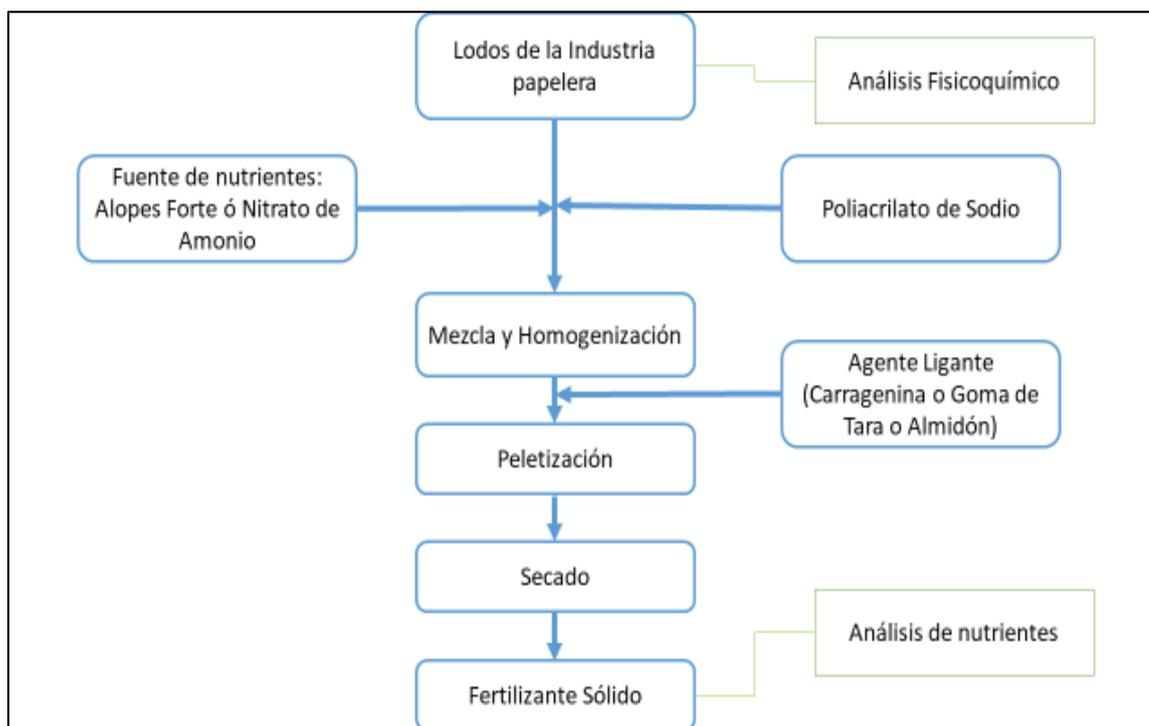
<b>Parámetro</b>	<b>Concentración</b>
pH	8.56
Conductividad Eléctrica	1.83 dS/m
Materia Orgánica	79.57%
N	0.6%
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.32%
K <sub>2</sub> O	0.08%
CaO	40.95%
MgO	0.5%
Hd	67.22%
Na	0.22%
Cu	73ppm
Zn	133ppm
Mn	67ppm
Fe	646ppm
B	501ppm
Pb	10.48ppm
Cd	0.05ppm
Cr	15.24ppm

FUENTE: Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes - UNALM

### 3.4. METODOLOGÍA

#### 3.4.1. ELABORACIÓN DE FERTILIZANTE SÓLIDO (PELLET)

Para la preparación del fertilizante se procedió con el flujograma que se presenta en la figura 3.



**Figura 3:** Flujograma general del proceso de producción del Fertilizante

De acuerdo a la figura 3, primero se realizó una caracterización inicial del lodo residual, para luego elaborar el fertilizante sólido el cual consiste en la mezcla de los residuos de celulosa conjuntamente con la fuente de nutrientes y el material superabsorbente (poliacrilato de sodio).

El material super absorbente (Poliacrilato de sodio) se trituro con ayuda de un rayador y cuchillo para posteriormente pasarlo por un filtro simple. Acción necesaria para facilitar la mezcla del superabsorbente con el residuo de celulosa. Para todos los tratamientos la concentración del material superabsorbente se mantuvo fijo en 4 por ciento en peso respecto a la matriz de residuo de celulosa.



**Figura 4:** Poliacrilato de sodio

Posteriormente, se preparó las fuentes de nutrientes para la elaboración del pellet; para los tratamientos con fuente orgánica (Alopes Forte), se empleó 35 ml por cada 100 gramos de residuo de celulosa. Para el caso de la fuente de la fuente mineral fue de 2.36 gramos de nitrato de amonio (se trituraron los gránulos de mineral a fin de facilitar la mezcla) por cada 100 gramos de residuo de celulosa, las cantidades de fertilizante orgánico y mineral son equivalentes en cuanto a contenido de nitrógeno.



**Figura 5:** Lodo de papel, Alopes forte, Poliacrilato de de sodio



**Figura 6:** Trituración Nitrato amonio

Luego se procedió a la mezcla y homogenización de los componentes, es decir de la matriz que es el residuo de celulosa con el material superabsorbente (poliacrilato de sodio), y la fuente de nutrientes (orgánica o mineral) de acuerdo al cuadro 8 de tratamientos.



**Figura 7:** Homogenización de insumos

Posteriormente se añadió los agentes ligantes de acuerdo al cuadro 8 de tratamientos, donde se especifica que la dosis es de 1 por ciento en peso respecto a la matriz de residuo de celulosa, para continuar con la homogenización. En la figura 8 se muestran de izquierda a derecha; Goma de tara, Carragenina y Almidón



**Figura 8:** Agentes Ligantes

A continuación, se procedió a trasvasar la mezcla obtenida anteriormente a la moledora para así formar los pellets.



**Figura 9:** Peletización

Finalmente, los pellets elaborados fueron dispuestos en la estufa del laboratorio de biorremediación ambiental; a una temperatura aproximada de 60°C por cuatro horas.



**Figura 10:** Secado de pellets

### 3.4.2. EVALUACIÓN DE LIBERACIÓN DE NUTRIENTES

Para estudiar el comportamiento de liberación lenta del pellet en agua, se sumergió una muestra seca (0,50 gramos de pellet) en 100 ml de agua destilada, para después poner los contenedores en el Shaker Incubator el cual brinda una temperatura constante de 25 °C y a la vez mantiene una agitación de 100 RPM para acelerar la liberación de nutrientes.



**Figura 11:** Evaluación de liberación de nutrientes a través del Shaker Incubator

La disolución de nutrientes desde la fase polimérica hacia la fase acuosa se determinó midiendo la concentración acumulada del fertilizante en la fase líquida receptora por conductimetría a diferentes intervalos de tiempo para lo cual se empleó un conductímetro portátil marca Hach; los intervalos de medición fueron: a los 5 min, 10 min, 15 min, 20 min, 25 min, 30 min, 35 min, 40 min, 50 min, 60 min, 70 min, 80 min, 100 min, 120 min, 140 min 160 min, 180 minutos.



**Figura 12:** Medición de conductividad

### 3.4.3. PRUEBA DE BIOENSAYO

#### a. AJUSTE DE NUTRIENTES

Para realizar esta prueba se empleó macetas de plástico debidamente etiquetadas, cada maceta fue debidamente llenada con 3kg de arena lavada de río, el cual se mezcló con los pellets de los tratamientos descritos en la tabla 10, asimismo se añadió cinco semillas de maíz de la variedad PM -213 por maceta. Para determinar la cantidad de fertilizante (pellet) necesario para cada maceta se procedió considerando los niveles de abonamiento de 200 ppm de N, 300 ppm P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 150 ppm K<sub>2</sub>O. De acuerdo a los resultados de laboratorio, [Ver anexo 3], se tiene que para los pellets con fuente de nutrientes orgánico la cantidad de nitrógeno fue de 1.92 por ciento y para el caso de fuente mineral fue de 1.64 por ciento, por lo cual al realizar una regla de tres simple se obtiene:

La cantidad de Nitrógeno requerida es: 200mg/kg, para cada maceta de 3kg se necesitará: 600 mg/maceta.

Por lo tanto, para el caso de fuente orgánica:

$$100 \text{ mg Pellet} * \frac{1.92 \text{ mg N}}{600 \text{ mg } \frac{\text{N}}{\text{maceta}}} = \frac{31250 \text{ mg Pellet}}{\text{maceta}} = 31.25 \text{ gr pellet/maceta}$$

Para el caso de fuente mineral:

$$100 \text{ mg Pellet} * \frac{1.64 \text{ mg N}}{600 \text{ mg} \frac{\text{N}}{\text{maceta}}} = \frac{36580 \text{ mg Pellet}}{\text{maceta}} = 36.58 \text{ gr pellet/maceta}$$

Por otra parte, para poder realizar la prueba satisfactoriamente se debe complementar el déficit de fosforo y potasio, por lo cual:

Para el caso de Fosforo, siguiendo el nivel de abonamiento de 300 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, el cual contiene 130.43 ppm de P, donde para la maceta de 3 kg es necesario: 391.29 mg P/maceta.

De acuerdo al anexo 3, se tiene que la concentración de Fosforo es de 0.17 por ciento para fuente orgánica y 0.16 por ciento para la fuente mineral.

Por lo cual, para el caso de fuente orgánica, al realizar una regla de tres simple se tiene:

$$31250 \text{ mg Pellet} * \frac{0.17 \text{ mg P}}{100 \text{ mg Pellet}} = 53 \text{ mg P/maceta}$$

Faltante: 391.29mg P – 53.125mg P = 338.165 mg P/maceta

Lo anterior quiere decir que hace falta 338.135 mg P/maceta para que la planta tenga condiciones para crecer, por lo cual se adiciona esta cantidad en forma de Superfosfato Triple (ST), haciendo las conversiones se debe adicionar 1.69g ST/maceta.

Para fuente mineral se tiene:

$$36580 \text{ mg Pellet} * \frac{0.16 \text{ mg P}}{100 \text{ mg Pellet}} = 50 \text{ mg P/maceta}$$

Faltante: 391.29mg P – 50mg P = 341.29 mg P/maceta

Hace falta 341.29 mg P/maceta para que la planta tenga condiciones para crecer, por lo cual se adiciona esta cantidad en forma de Superfosfato Triple (ST), haciendo las conversiones se debe adicionar 1.7g ST/maceta

De la misma forma para el caso del Potasio siguiendo el nivel de abonamiento de 150 K<sub>2</sub>O, la planta necesita 125 mg K/kg, es decir para la maceta de 3kg se necesitó 375mg K/maceta. De acuerdo al anexo 3, se tiene que la concentración de Potasio es de 0.66 por ciento para fuente orgánica y 0.04 por ciento para la fuente mineral.

Por lo cual, para el caso de fuente orgánica, al realizar una regla de tres simple se tiene:

$$31250 \text{ mg Pellet} * \frac{0.66 \text{ mg K}}{100 \text{ mg Pellet}} = 206 \text{ mg K/maceta}$$

Faltante: 375mg K – 206 mg K = 169 mg K/maceta

Lo anterior quiere decir que hace falta 169mg K/maceta para que la planta tenga condiciones para crecer, por lo cual se adiciona esta cantidad en forma de Cloruro de potasio (ClK), haciendo las conversiones se debe adicionar 338mg ClK/maceta.

Dicha cantidad debe ser añadida en solución y en dos fraccionamientos para evitar quemaduras en la planta, por lo cual:

Para cada maceta se añade 100 ml de la solución por cada dosis

Primera dosis: 169mg ClK x 25 macetas = 4225 mg > 4.225g ClK /2.5 L(25x100ml)

Segunda dosis: 169mg ClK x 25 macetas = 4225 mg > 4.225g ClK /2.5 L(25x100ml)

Para fuente mineral se tiene:

$$36580 \text{ mg Pellet} * \frac{0.04 \text{ mg K}}{100 \text{ mg Pellet}} = 14.63 \text{ mg P/maceta}$$

Faltante: 375mg K – 14.63 mg K = 360.37 mg K/maceta

Hace falta 360.37 mg K/maceta para que la planta tenga condiciones para crecer, por lo cual se adiciona esta cantidad en forma de Cloruro de potasio (ClK), haciendo las conversiones se debe adicionar 720.7 mg ClK/maceta

Dicha cantidad debe ser añadida en solución (agua destilada) y en dos fraccionamientos para evitar quemaduras en la planta, por lo cual:

Para cada maceta se añade 100 ml de la solución por cada dosis

Primera dosis: 360mg ClK x 25 macetas = 9000 mg > 9g ClK /2.5 L(25x100ml)

Segunda dosis: 360mg ClK x 25 macetas = 9000 mg > 9g ClK /2.5 L(25x100ml)

En la tabla 8 se observa el resumen de las dosis y cantidad de pellet necesaria para los tratamientos.

**Tabla 8:** Dosificación de pellets y nutrientes para la prueba de campo

Fuente de nutrientes	Cantidad de pellet en base a contenido de nitrógeno	Dosis de Fosforo adicional	Dosis de Potasio adicional
Orgánica	31.25 gramos	1.69 gramos ST/maceta	1era dosis 0.169 gramos/100ml
			2da dosis 0.169 gramos/100ml
Mineral	36.58 gramos	1.7 gramos ST/maceta	1ra dosis 0.720 gramos/100 ml
			2da dosis 0.720 gramos/100 ml

FUENTE: Elaboración propia

#### b. COSECHA DE PLANTA DE MAÍZ

De acuerdo a las cantidades obtenidas anteriormente se empezó la prueba, para lo cual la arena lavada de río (3 kg), al cual se realizó su caracterización como sustrato lo que se puede observar en la tabla 9.

**Tabla 9:** Resultados de caracterización de sustrato (arena)

Parámetro	Concentración
pH	8.13
Conductividad eléctrica	0.33dS/m
CaCO <sub>3</sub>	0.20%
Materia Orgánica	0.08%
Fosforo	5.5ppm

Continuación...

Potasio	67ppm
Arena	92%
Limo	8%
Arcilla	0%
Clase textural	A
CIC	4.8
Ca <sup>+2</sup>	3.91
Mg <sup>+2</sup>	0.62
K <sup>+</sup>	0.14
Na <sup>+</sup>	0.13
Al <sup>+3</sup>	0

FUENTE: Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes - UNALM

Posteriormente, se extendió la arena en una fuente para poder mezclarlo con los pellets y con superfosfato triple, de acuerdo a las tablas 8 y 10.



**Figura 13:** Pellets en arena de río para la prueba de campo

Luego, se implanto cinco semillas de maíz de la variedad PM-213 en cada maceta, para así evaluar la efectividad del fertilizante en el crecimiento de la planta. Cada tratamiento se realizó con tres repeticiones.



**Figura 14:** Semillas de maíz  
prueba



**Figura 15:** Macetas instaladas para la prueba

Finalmente, se realizó la cosecha después de 75 días, donde para la evaluación del bioensayo se midió las variables morfológicas de; altura de planta, peso seco radicular y peso seco aéreo.



**Figura 16:** Altura de maíz culminado el experimento

#### **3.4.4. DISEÑO EXPERIMENTAL**

El presente trabajo experimental se dividió en dos etapas:

Para la primera etapa, la elaboración de fertilizante sólido, se estableció el experimento bajo el diseño estadístico completamente al azar, donde los tratamientos fueron asignados con tres repeticiones por cada tratamiento. Dentro de los cuales se consideraron dos tratamientos (Tratamientos de control) con tres repeticiones cada una.

Para la segunda etapa, prueba de bioensayo, se estableció el experimento bajo el diseño estadístico completamente al azar, con tres controles y cada tratamiento se realizó con tres repeticiones.

Luego de ejecutarse el análisis de varianza de cada uno de las variables consideradas en el estudio, se hicieron las comparaciones medias mediante la Prueba de Significación de Tukey a un nivel del 5 por ciento, indicándose las diferencias significativas entre los tratamientos con diferentes letras, se utilizó el software SPSS. [Ver Anexo 2]

#### **3.4.5. TRATAMIENTOS DE ESTUDIO**

Como se observa en la tabla 10, el experimento consistió de catorce tratamientos dos pruebas de control: una de control de fertilizante orgánico y otro con fertilizante químico y adicionalmente un control que solo contuvo arena para la prueba de bioensayo, los porcentajes están en función del peso del lodo de papel empleado.

**Tabla 10:** Descripción de tratamientos

<b>Tratamiento</b>	<b>Carragenina</b>	<b>Goma de tara</b>	<b>Almidón</b>	<b>Fuente de nutrientes</b>	<b>Repeticiones</b>
T1	1%	0%	0%	Orgánico	3
T2	1%	0%	0%	Mineral	3
T3	1%	0%	1%	Orgánico	3
T4	1%	0%	1%	Mineral	3
T5	1%	1%	0%	Orgánico	3
T6	1%	1%	0%	Mineral	3
T7	1%	1%	1%	Orgánico	3
T8	1%	1%	1%	Mineral	3
T9	0%	0%	1%	Orgánico	3
T10	0%	1%	0%	Mineral	3
T11	0%	1%	0%	Orgánico	3
T12	0%	1%	1%	Mineral	3
T13	0%	1%	1%	Orgánico	3
T14	0%	0%	1%	Mineral	3
C1	0%	0%	0%	Orgánico	3
C2	0%	0%	0%	Mineral	3
C3*					3

**T: Tratamiento**

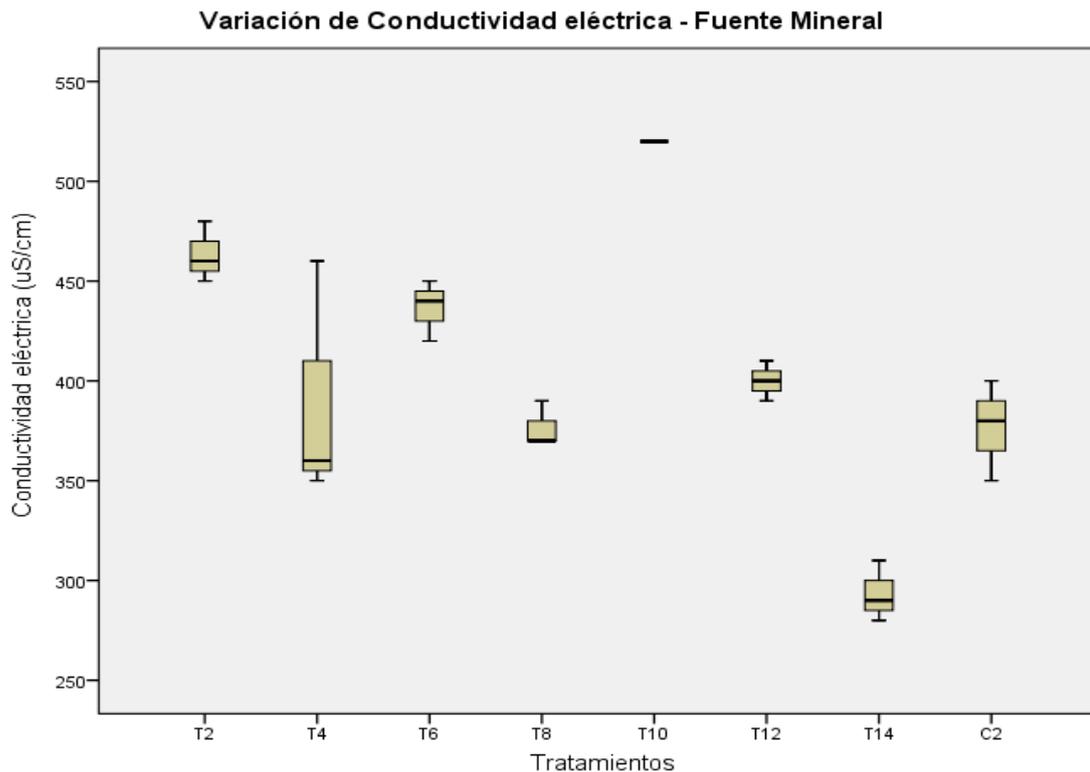
**C: Control**

**\*Control 3:** Empleado sólo en la prueba de bioensayo, el cual consistió únicamente en arena lavada de río con las semillas de maíz

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. LIBERACIÓN DE NUTRIENTES

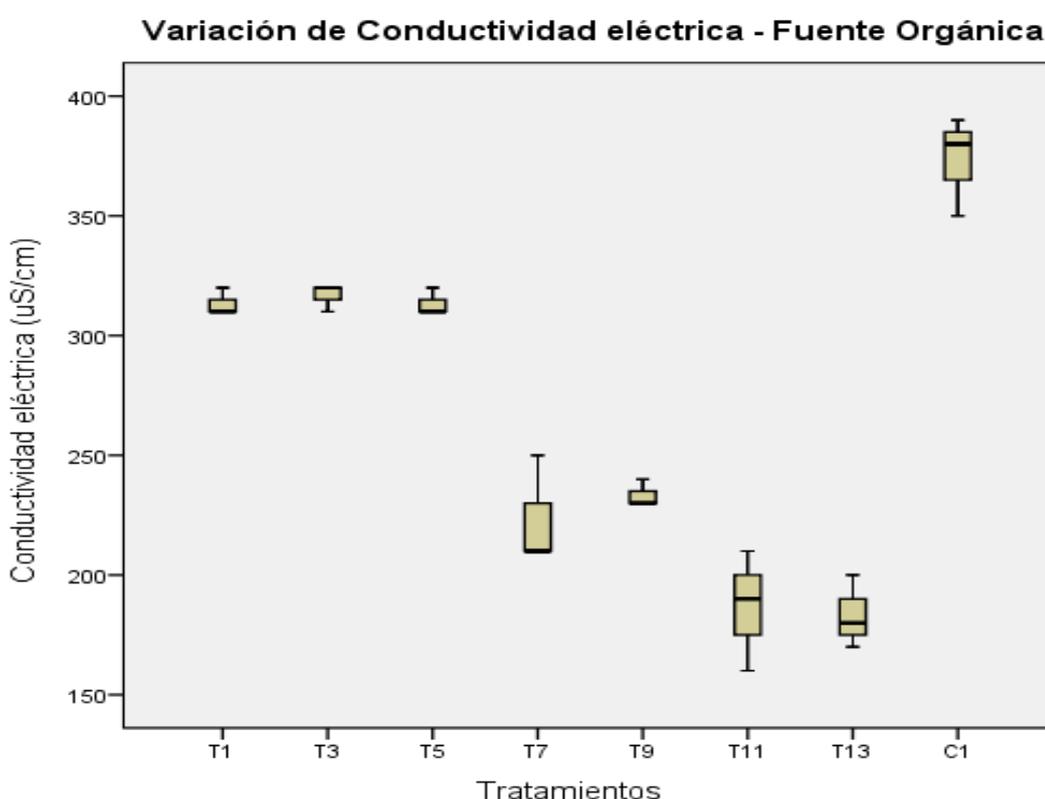
En base a los resultados de medición de conductividad eléctrica (Ver anexo 5), en la figura 17 observamos que para el caso de fuente de nutrientes mineral el mejor tratamiento fue T14 (1 por ciento de almidón) ya que los valores de conductividad eléctrica se encuentran semejantes o por debajo del control C2, lo cual indica que existió una mayor retención de nutrientes para estos tratamientos, evidenciándose una liberación “lenta” en la tendencia de la gráfica.



**Figura 17: Variación de Conductividad eléctrica – Fuente Mineral**

En la figura 18 observamos que para el caso de fuente de nutrientes orgánica el mejor tratamiento fue T13 (1 por ciento de Goma de tara y 1 por ciento de Almidón), ya que los valores de conductividad eléctrica se encuentran semejantes o por debajo del control C1, lo cual indica que existió una mayor retención de nutrientes para estos tratamientos, evidenciándose una liberación “lenta” en la tendencia de la gráfica.

La retención de nutrientes por parte del control se debe básicamente a la composición de poliacrilato de sodio, ya que según Vlach (1991) citado por Hernández (2007), la adición de hidrogeles (retenedores de agua) no solo optimizan la disponibilidad de agua también reduce las pérdidas por lixiviación y percolación de nutrientes.



**Figura 18: Variación de Conductividad eléctrica – Fuente Orgánica**

Según los resultados se evidencia la importancia del almidón en la retención de nutrientes, ya que tres de los mejores tratamientos lo contienen, este polisacárido ha sido utilizado en la preparación de sistemas de liberación controlada de urea, así como P y K, demostrando mayor eficiencia en cuanto liberación lenta respecto a la urea convencional. (Yongsheng Niu 2012). Asimismo; Kang et al. (2013), probaron derivados de almidón para garantizar la liberación lenta de roca fosfórica evidenciando resultados positivos.

Boli Ni et al. (2012), investigaron el uso de polímeros naturales como recubrimiento para fertilizantes de liberación lenta, como es el caso de goma de tara y guar, evidenciando resultados positivos, logrando que el nutriente nitrógeno alcanzara un estado estable de liberación en 20 días en el suelo, lo cual se comprueba en el presente trabajo ya que la aplicación del pellet, específicamente; para la cantidad de nitrógeno necesaria para el crecimiento del maíz fue de una sola dosis hasta el final de la cosecha, lo que usualmente se aplica en tres dosis con el fertilizante convencional, por motivos de que pueda quemar a la planta o que puede ser lavado con facilidad.

Diversos autores han realizado experimentos relacionados a fertilizantes de liberación lenta, empleando diferentes agentes ligantes o de cubierta, como es el caso de Gronlund (2007); donde evaluó la liberación de nutrientes de fertilizantes nitrogenados empleando Etil Celulosa como polímero para generar la liberación lenta de nutrientes, donde se evidenció que la conductividad eléctrica del fertilizante el polímero fue menor en 10 por ciento que el control, obteniendo una conductividad final de 95 mS/cm a los 30 minutos, el cual es significativamente mayor a lo obtenido en el presente experimento. Esto se puede aducir a que la formulación del pellet contiene también un polímero superabsorbente el cual también tiene efectos de retención.

Asimismo, según Melaj (2012), también se puede realizar una curva de calibración de la conductividad a partir de los resultados registrados a diferentes pesos de fertilizante en soluciones patrón de  $\text{KNO}_3$ ; con la finalidad de estimar la concentración de nitratos liberados. Donde obtuvo resultados positivos teniendo una reducción en la liberación de aproximadamente 12 por ciento, lo cual evidencia que los resultados obtenidos en el presente experimento son positivos ya que el porcentaje de reducción de liberación fue de 22 por ciento para el caso de fuente mineral (Mejor tratamiento T14 y Control C2), y de 50 por ciento para el caso de fuente orgánica (Mejor Tratamiento T13 y Control C1)

Por otra parte, de acuerdo a la figura 17 y 18 se evidencia que los tratamientos T1, T2, T3 y T4 presentaron valores altos de conductividad eléctrica, lo cual se puede inferir que es ocasionado por su composición, específicamente de ligante o polímero asociado. De acuerdo al cuadro 10, los tratamientos mencionados no poseen en su composición el polímero “Goma de Tara”, el cual es ampliamente utilizado en el tratamiento de aguas residuales como coagulante, donde según Kumar et al. (2015) la remoción de turbidez llegó hasta un 65 por

ciento con goma de tara, por lo cual al poseer esa propiedad de coagulante y ayudante de floculación (Aguilar 2010), puede retener con más eficacia los nutrientes de la matriz del pellet.

De acuerdo al análisis de variancia (ANOVA) se encontró diferencias significativas entre los tratamientos (Ver Anexo 2). Por lo cual se procedió a ejecutar las comparaciones de las medias mediante la Prueba de Significación de Tukey a un nivel de significancia de 5 por ciento. Según la tabla 11, se evidencian las diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos:

**Tabla 11:** Prueba de Significación de Tukey al 5 por ciento - Conductividad

Tratamiento	Medias	N	E.E.	Significancia
T13	183.33	3	12.28	A
T11	186.67	3	12.28	A
T7	223.33	3	12.28	A
T9	233.33	3	12.28	AB
T14	293.33	3	12.28	BC
T5	313.33	3	12.28	CD
T1	313.33	3	12.28	CD
T3	316.67	3	12.28	CD
C1	373.33	3	12.28	DE
C2	376.67	3	12.28	DE
T8	376.67	3	12.28	DE
T4	390	3	12.28	E
T12	400	3	12.28	EF
T6	436.67	3	12.28	EF
T2	463.33	3	12.28	FG
T10	520	3	12.28	G

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )*

FUENTE: Elaboración propia

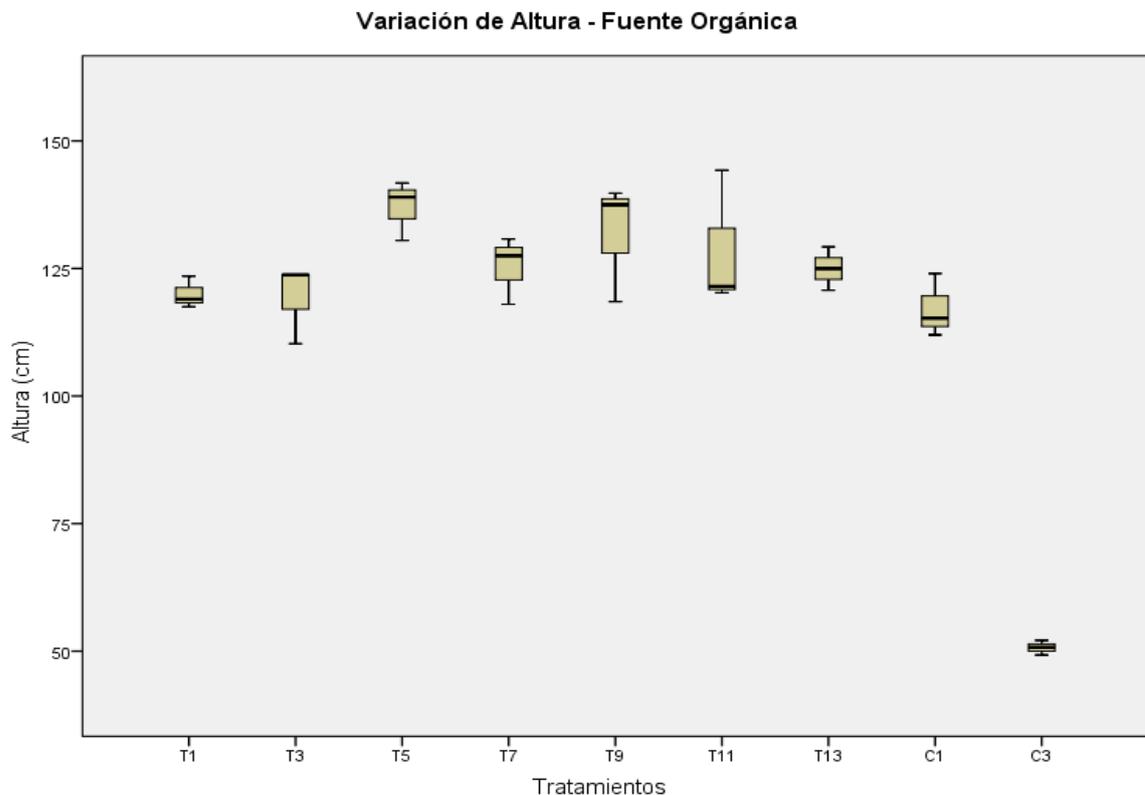
De la tabla 11, se evidencia que la mayor diferencia estadística es entre los tratamientos T13 (fuente de nutrientes orgánica) y T10 (fuente de nutrientes mineral), por lo cual se puede deducir que el pellet de naturaleza mineral no tiene la misma eficacia de retención de nutrientes a comparación de la fuente orgánica. Esto se puede explicar fundamentalmente a

que la fuente de nutrientes es en base de nitrato de amonio, el cual es fertilizante nitrogenado de alta solubilidad (190 gramos / 100 ml)

## 4.2. BIOENSAYO

En base a los resultados de medición de los bioindicadores de altura, peso seco radicular y peso aéreo de maíz (Ver Anexo 5) se obtuvo lo siguiente:

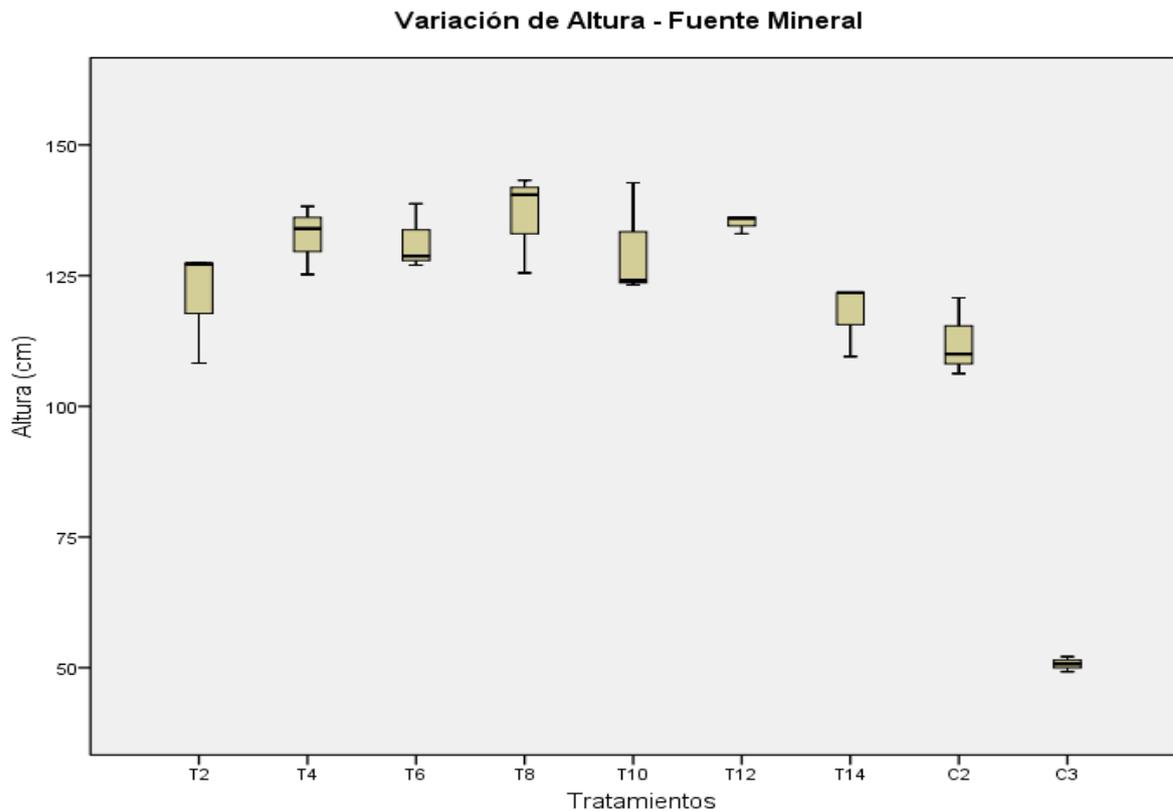
### 4.2.1. Altura de plantas de maíz



**Figura 19: Variación de altura - Fuente Orgánica**

De acuerdo a la figura 19, para el caso de fuente orgánica, se observa que todos los tratamientos con agentes ligantes, tanto almidón, carragenina y goma de tara fueron superiores a los controles C1 (sin agente ligante) y C3 (solo arena), donde el mejor tratamiento fue el T5 (1 por ciento de carragenina y 1 por ciento de goma de tara), registrándose una altura promedio de 137.08 centímetros en el periodo de prueba.

De acuerdo a la figura 20, para el caso de fuente mineral, se observa que todos los tratamientos con agentes ligantes, tanto almidón, carragenina y goma de tara fueron superiores a los controles C2 (sin agente ligante) y C3 (solo arena), donde el mejor tratamiento fue el T8 (1 por ciento de carragenina, 1 por ciento de almidón y 1 por ciento de goma de tara), registrándose una altura promedio de 136.42 centímetros en el periodo de prueba.



**Figura 20: Variación de altura - Fuente Mineral**

Resultados similares fueron obtenidos por Fernandez et al. (2003), cuando evaluaron el crecimiento de la planta de olivo con el uso de fertilizantes de lenta liberación (en base de urea y recubierto con sulfuro), donde los tratamientos tuvieron mayor crecimiento promedio en comparación que el control, evidenciando de esta manera un efecto positivo en el rendimiento del fertilizante.

Asimismo, Yu Guan et al. (2015), realizó investigaciones acerca del efecto de fertilizantes de lenta liberación en el crecimiento de maíz, empleando atapulguita como ligante. De acuerdo a sus resultados se evidenció que los tratamientos formulados para lenta liberación obtuvieron mejores rendimientos en cuanto altura de maíz, por otra parte, también

experimentaron las diferencias en el rendimiento del fertilizante mezclado con el ligante (Similar a a la metodología presentada) y fertilizante recubierto con el ligante en forma de capa, donde este último tuvo mejor rendimiento, por lo cual es de interés realizar este tipo de pruebas con ligante en forma de cubierta para futuras investigaciones. De la misma forma, según Amir et al (2015), el crecimiento de las plantas de maíz fue mayor que las del control y los tratamientos únicamente con urea, obteniendo en promedio un 6 por ciento mayor en altura. Similar a lo obtenido en el presente trabajo, donde para la fuente mineral, el mejor tratamiento (T8) obtuvo 5 por ciento más de altura respecto al control. En cuanto a la fuente de nutrientes orgánica el mejor tratamiento (T5) obtuvo 6 por ciento más de altura respecto al control.

De acuerdo al análisis de variancia (ANOVA) se encontró diferencias significativas entre los tratamientos (Ver Anexo 2). Por lo cual se procedió a ejecutar las comparaciones de las medias mediante la Prueba de Significación de Tukey a un nivel de significancia de 5 por ciento. Según la tabla 12, se evidencian las diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos:

**Tabla 12:** Prueba de Significación de Tukey al 5 por ciento - Altura

Tratamientos	Medias	n	E.E.	Significancia
C3	50.71	3	4.55	A
C2	112.33	3	4.55	B
T14	117.08	3	4.55	BC
T3	117.67	3	4.55	BC
T1	119.25	3	4.55	BC
T2	120	3	4.55	BC
T13	121	3	4.55	BC
T7	125	3	4.55	BC
T11	125.42	3	4.55	BC
T10	128.67	3	4.55	BC
T6	130	3	4.55	BC
T9	131.5	3	4.55	BC
T4	132.5	3	4.55	BC
T12	135.08	3	4.55	BC
T8	136.42	3	4.55	C
T5	137.08	3	4.55	C

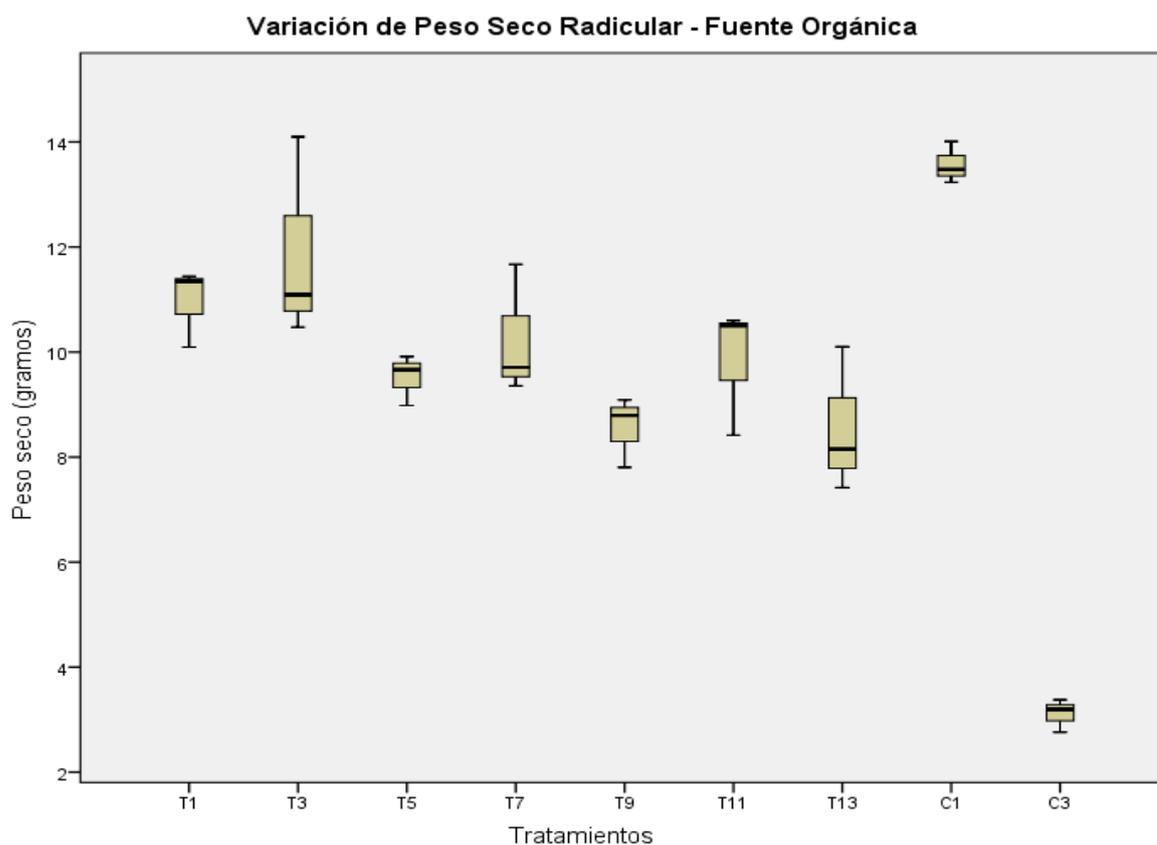
*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )*

FUENTE: Elaboración propia

De la tabla 12 se evidencia que no existe mucha diferencia entre los diversos tratamientos ya sea por el tipo de fuente orgánico o mineral, o por el tipo y mezcla de agentes ligantes empleados, las diferencias más significativas son entre los controles y los tratamientos T8 y T5, los cuales son los mejores tratamientos para fuente de nutrientes mineral y orgánica respectivamente.

#### 4.2.2. Materia seca de la parte radicular

De acuerdo a la figura 21, para el caso de fuente orgánica, se observa que peso seco radicular de todos los tratamientos con agentes ligantes, tanto almidón, carragenina y goma de tara fueron inferior a los controles C1 (sin agente ligante) y superior al C3 (solo arena).

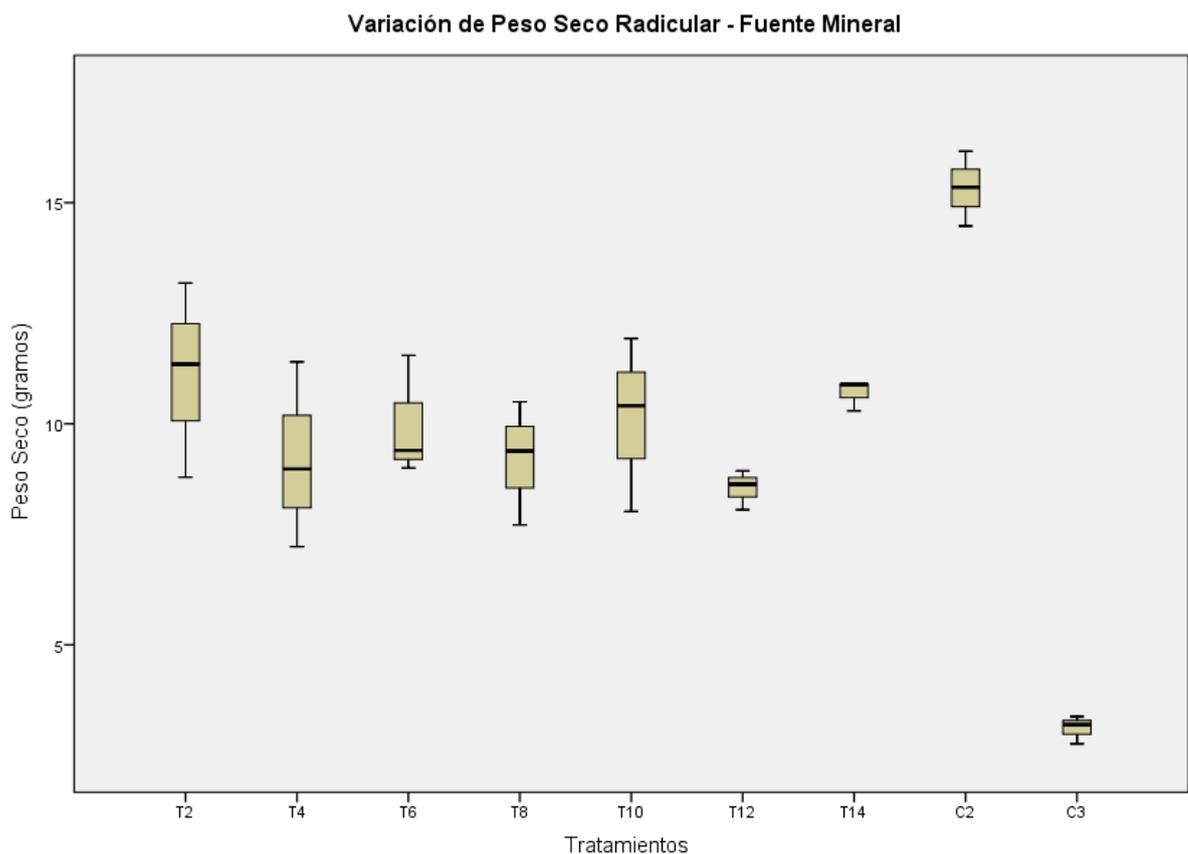


**Figura 21: Variación de Materia seca radicular - Fuente Orgánica**

Lo que significa que los nutrientes contenidos en el control se perdieron con mayor facilidad, tanto por volatilización y filtración, ya que según Borda (2013), el mayor peso seco radicular

se debe a que si el agua y los nutrientes escasean, será necesario poseer un sistema radicular amplio para que la planta sobreviva. En cambio, sí una planta recibe agua y nutrientes en abundancia no estimulara demasiado el crecimiento de la raíz. Asimismo, se evidencia que no existe mucha diferencia entre los diversos tratamientos ya sea por el tipo de fuente orgánico o mineral, o por el tipo y mezcla de agentes ligantes empleados

De las figuras 21 y 22, se puede observar que los tratamientos con menor peso seco radicular son T13 para fuente orgánica y T12 para fuente mineral, los cuales cada uno contienen 1 por ciento de almidón y 1 por ciento de goma de tara como ligante. De acuerdo a lo citado por Borda (2013), indica que el sistema radicular de la planta se ve influenciado por la disponibilidad de agua y nutrientes, donde si ésta recibe nutrientes en abundancia no estimulará demasiado el crecimiento de la raíz, por lo cual se puede inferir que los mejores tratamientos para el parámetro de peso seco son T13 y T12.



**Figura 22: Variación de Materia seca radicular - Fuente Mineral**

De acuerdo al análisis de variancia (ANOVA) se encontró diferencias significativas entre los tratamientos (Ver Anexo 2). Por lo cual se procedió a ejecutar las comparaciones de las

medias mediante la Prueba de Significación de Tukey a un nivel de significancia de 5 por ciento. Según la tabla 13, se evidencian las diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos:

**Tabla 13:** Prueba de Significación de Tukey al 5 por ciento - Peso seco radicular

Tratamiento	Medias	n	E.E.	Significancia
C3	3.11	3	0.75	A
T12	8.54	3	0.75	B
T13	8.56	3	0.75	B
T9	8.56	3	0.75	B
T8	9.2	3	0.75	B
T4	9.2	3	0.75	B
T5	9.52	3	0.75	B
T11	9.84	3	0.75	BC
T6	9.98	3	0.75	BC
T10	10.12	3	0.75	BC
T7	10.24	3	0.75	BC
T14	10.69	3	0.75	BC
T1	10.96	3	0.75	BC
T2	11.11	3	0.75	BC
T3	11.89	3	0.75	CD
C1	13.57	3	0.75	CD
C2	15.33	3	0.75	D

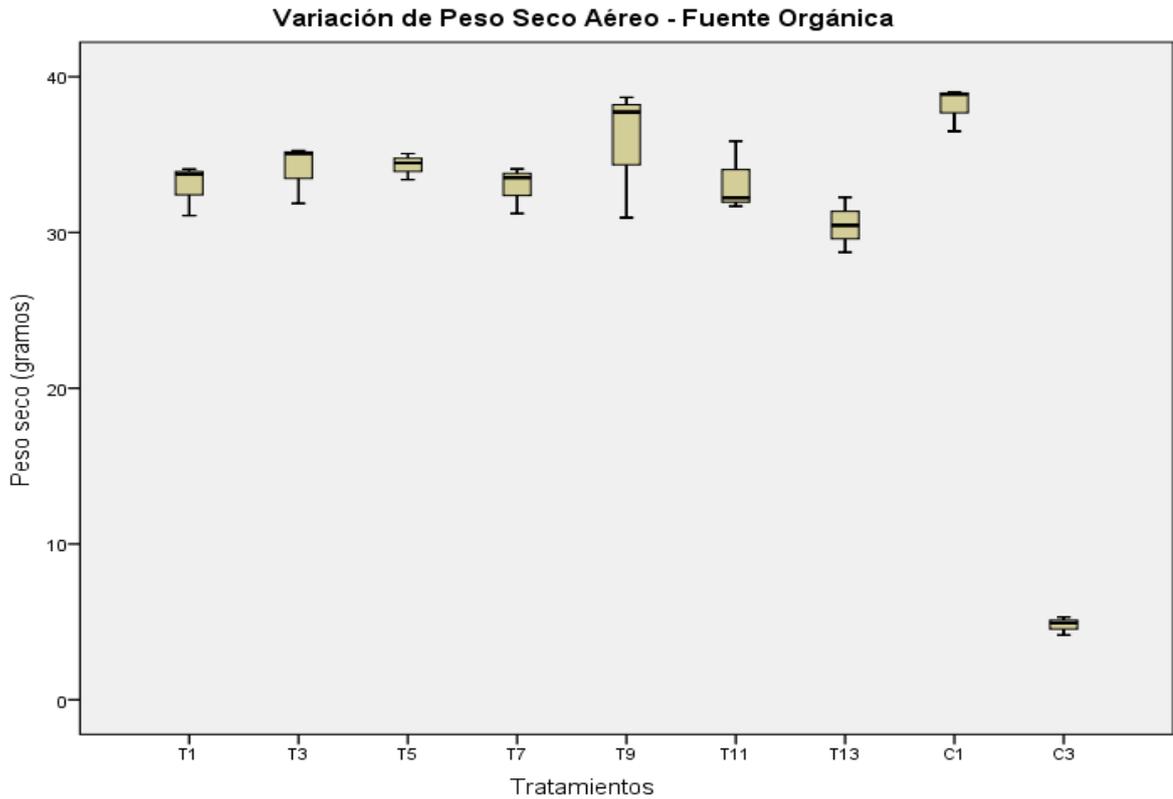
*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )*

FUENTE: Elaboración propia

De acuerdo a los resultados a la tabla 13, no se evidencia una alta diferencia estadística entre los tratamientos. Según lo reportado por Ouis et al. (2016), demostraron resultados similares al evaluar el fertilizante lenta liberación en base a silicatos, donde obtuvieron que no existía diferencia significativa para el caso del peso seco radicular, siendo el peso del control igual o superior para los tratamientos con fertilizante de lenta liberación.

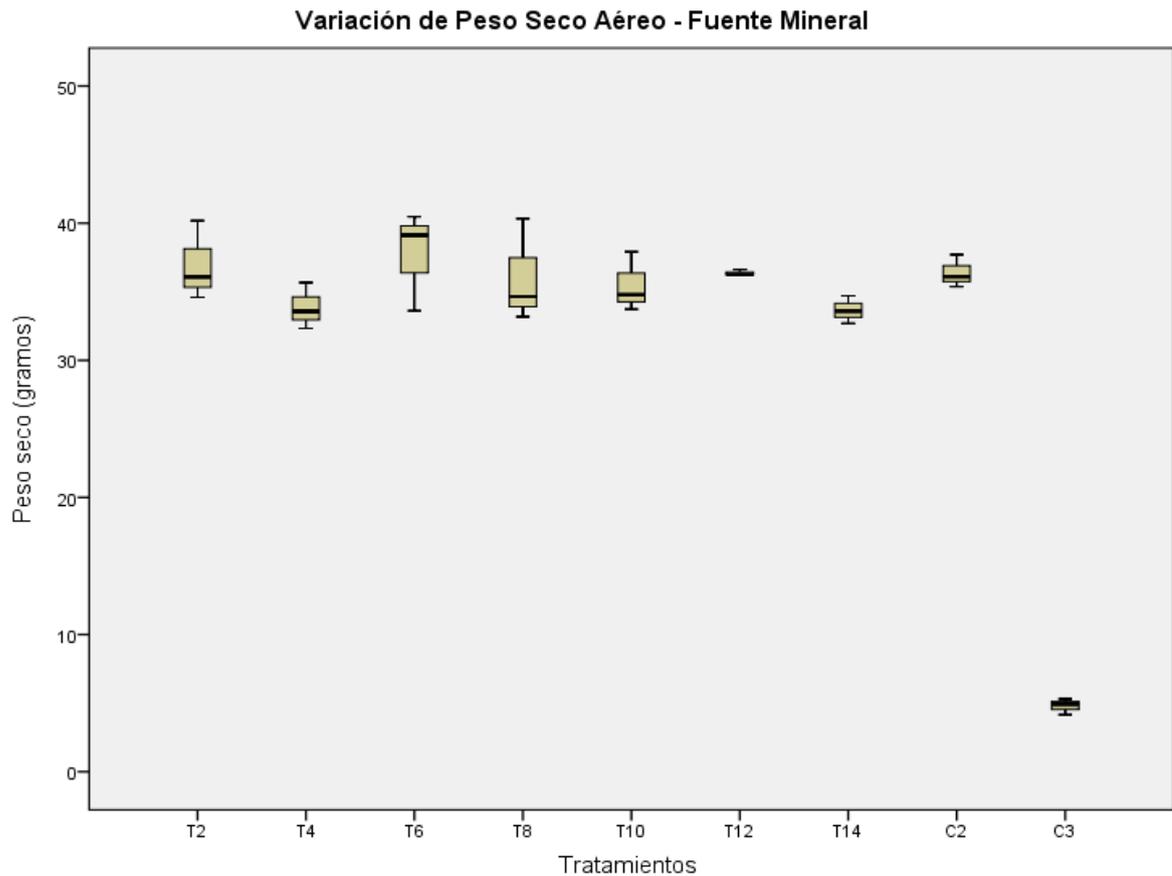
#### 4.2.3. Materia seca de la parte aérea

De acuerdo a la figura 23 para el caso de fuente orgánica se observa que peso seco radicular de todos los tratamientos con agentes ligantes, tanto almidón, carragenina y goma de tara fueron inferior a los controles C1 (sin agente ligante) y superior al C3 (solo arena), lo que significa que el peso seco aéreo no depende del contenido de pellets por tratamiento.



**Figura 23: Variación de Materia seca aérea - Fuente Orgánica**

De acuerdo a la figura 24 para el caso de fuente mineral se observa que para el peso seco aéreo; los tratamientos T2, y T6 fueron superiores al control C2 (sin agente ligante) y superior al C3 (solo arena), siendo T2 (1 por ciento de Carragenina) el mejor tratamiento; sin embargo, se evidencia que no existe mucha diferencia entre los diversos tratamientos ya sea por el tipo de fuente orgánico o mineral, o por el tipo y mezcla de agentes ligantes empleados.



**Figura 24: Variación de Materia Seca - Fuente Mineral**

De acuerdo al análisis de variancia (ANOVA) se encontró diferencias significativas entre los tratamientos (Ver Anexo 2). Por lo cual se procedió a ejecutar las comparaciones de las medias mediante la Prueba de Significación de Tukey a un nivel de significancia de 5 por ciento. Según la tabla 14, se evidencian las diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos:

**Tabla 14:** Prueba de Significación de Tukey al 5 por ciento - Peso seco aéreo

Tratamiento	Medias	n	E.E.	Significancia
C3	4.79	3	1.28	A
T13	30.48	3	1.28	B
T7	32.94	3	1.28	BC
T1	32.97	3	1.28	BC
T11	33.25	3	1.28	BC
T14	33.66	3	1.28	BC
T4	33.85	3	1.28	BC
T3	34.07	3	1.28	BC
T5	34.31	3	1.28	BC
T10	35.48	3	1.28	BC
T9	35.79	3	1.28	BC
T8	36.05	3	1.28	BC
T12	36.37	3	1.28	BC
C2	36.39	3	1.28	BC
T2	36.98	3	1.28	BC
T6	37.78	3	1.28	C
C1	38.14	3	1.28	C

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )*

FUENTE: Elaboración propia

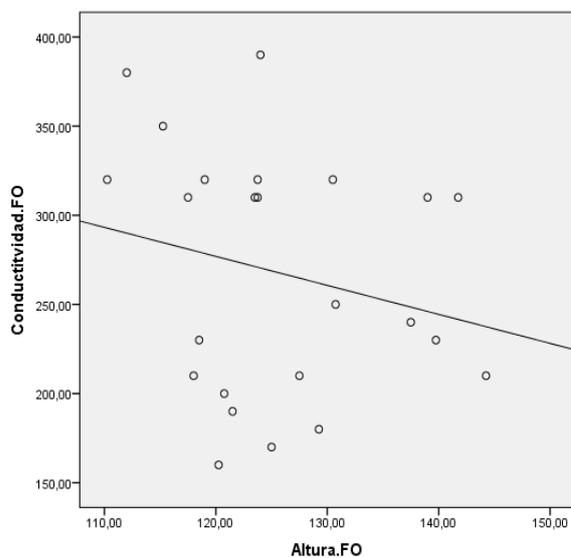
Según la tabla 14, se evidencia que no existe una alta diferencia significativa entre tratamientos, según lo reportado por Manikandan (2015), la materia seca obtenida en las pruebas con maíz mostró resultados similares, no reportándose diferencias significativas entre los tratamientos. Por otra parte, Borda (2013), determinó en su estudio que el peso seco aéreo no dependía del contenido de la cantidad de poliacrilato de sodio empleado como superabsorbente. Asimismo, según los resultados presentados por Ouis et al. (2016), donde evaluó el rendimiento de un fertilizante de lenta liberación en cultivo de maíz, obtuvieron que para el caso de peso seco aéreo no se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos, siendo el peso seco del control ligeramente mayor al de los tratamientos. Lo cual está relacionado con lo obtenido en el presente trabajo tanto para fuente de nutrientes orgánica y mineral.

### 4.3. ANALISIS DE CORRELACIÓN DE VARIABLES

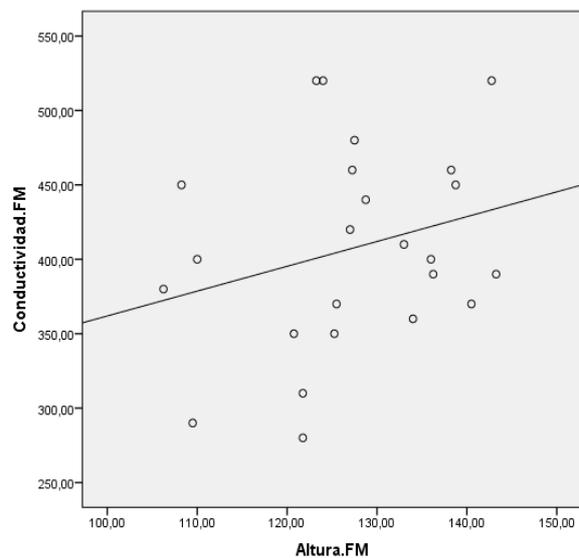
Se realizó el análisis de correlación de variables de Pearson con la finalidad de obtener el grado de correlación entre la variable conductividad eléctrica y las variables biométricas.

#### Conductividad eléctrica vs Altura de maíz

Se realizó el análisis de correlación de Pearson según fuente de nutrientes (Anexo 1), donde para el caso de fuentes de nutriente orgánico no se obtuvo correlación significativa ( $p > 0.05$ ), siendo el coeficiente de correlación  $-0.223$ . Asimismo, para el caso de fuente de nutriente mineral no se obtuvo correlación significativa ( $p > 0.05$ ), siendo el coeficiente de correlación  $0.267$ .



**Figura 25.** Correlación de Conductividad vs Altura (Fuente orgánica)

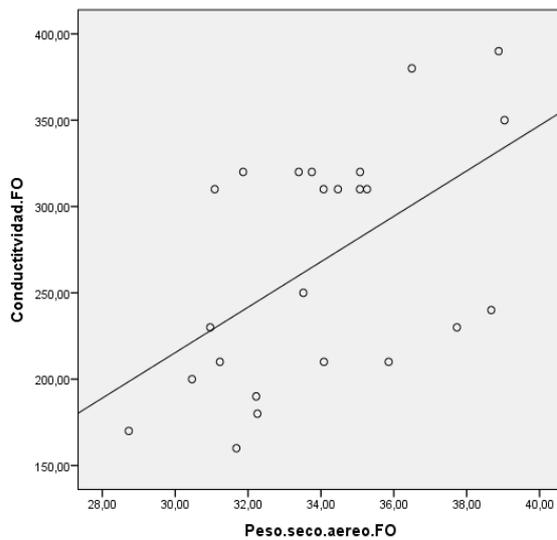


**Figura 26.** Correlación de Conductividad vs Altura (Fuente mineral)

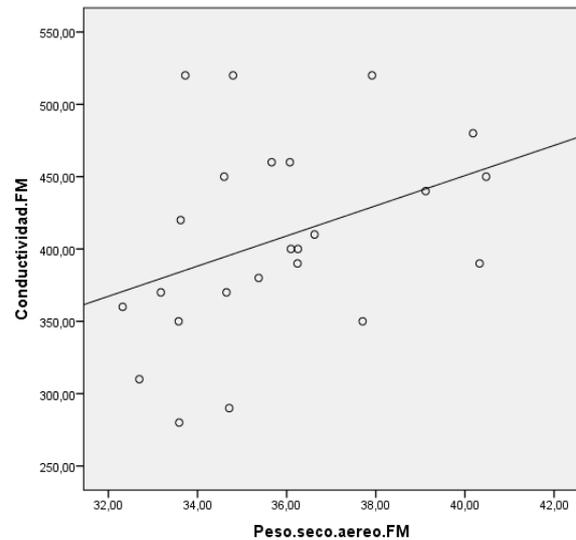
De acuerdo a los gráficos anteriores se deduce que una menor conductividad no necesariamente significará que la planta tendrá un mayor crecimiento, resultados similares obtuvieron Naik et al. (2013), donde se registró que a mayor conductividad la planta obtuvo un mayor crecimiento.

## Conductividad vs Peso Seco Aéreo

Se realizó el análisis de correlación de Pearson según fuente de nutrientes (Anexo 1), donde para el caso de fuentes de nutriente orgánico se obtuvo correlación significativa ( $p < 0.05$ ), siendo el coeficiente de correlación 0.54. Por otra parte, para el caso de fuente de nutriente mineral no se obtuvo correlación significativa ( $p > 0.05$ ), siendo el coeficiente de correlación 0.371.



**Figura 27.** Correlación de Conductividad vs Peso seco aéreo (Fuente orgánica)

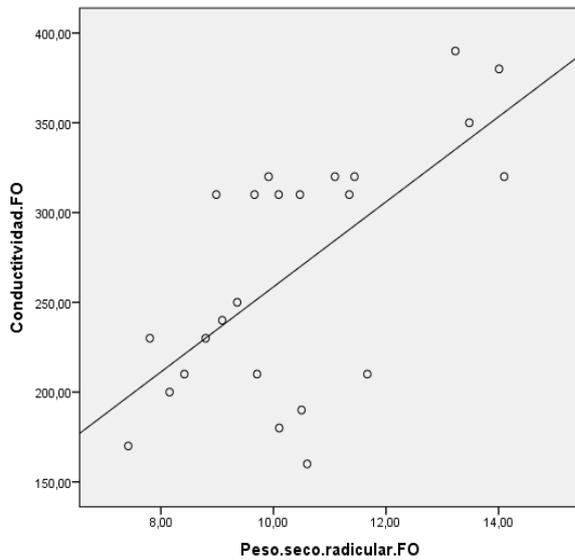


**Figura 28.** Correlación de Conductividad vs Peso seco aéreo (Fuente mineral)

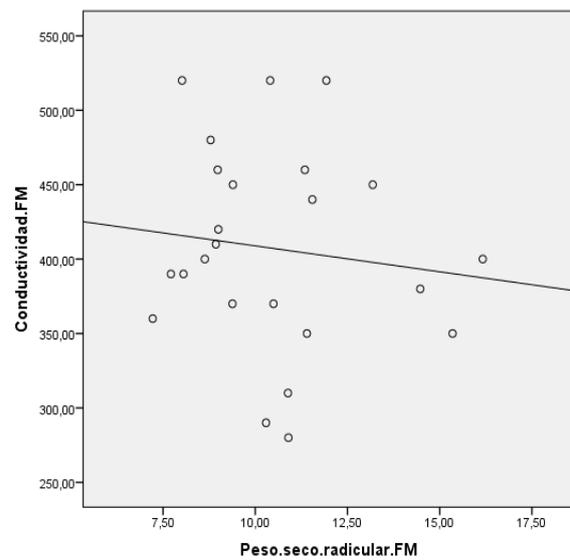
De acuerdo a la figura 27 y 28, se puede deducir que la liberación lenta de nutrientes fue óptima para el crecimiento normal de la planta. Resultado similar obtuvo Naik (2012), donde registró diferencias significativas en cuanto a la conductividad y el peso seco aéreo con una tendencia ascendente.

## Conductividad vs Peso Seco Radicular

Se realizó el análisis de correlación de Pearson según fuente de nutrientes (Anexo 1), donde para el caso de fuentes de nutriente orgánico se obtuvo correlación significativa ( $p < 0.05$ ), siendo el coeficiente de correlación 0.653. Por otra parte, para el caso de fuente de nutriente mineral no se obtuvo correlación significativa ( $p > 0.05$ ), siendo el coeficiente de correlación -0.122.



**Figura 29.** Correlación de Conductividad vs Peso seco radicular (Fuente orgánica)



**Figura 30.** Correlación de Conductividad vs Peso seco radicular (Fuente mineral)

## V. CONCLUSIONES

1. De acuerdo a los resultados obtenidos, se ha demostrado que sí es posible producir fertilizante de lenta liberación en forma de pellets, aprovechando la propiedad de los agentes ligantes y del superabsorbente del residuo industrial poliactalto de sodio, los cuales generaron que los nutrientes se liberen de forma paulatina evitando de esta manera perdidas por volatización o infiltración.
2. Respecto a la variable de conductividad eléctrica, la cual midió de forma indirecta la liberación de nutrientes se concluye que para el caso de fuente mineral el tratamiento T14 (1 por ciento de almidón) presento el mejor tratamiento, debido a que el valor de conductividad eléctrica al final de la prueba de laboratorio resulto siendo menor que el control y menor que los demás tratamientos. Por otra parte, para fuente orgánica el mejor tratamiento fue T13 (1 por ciento de Almidón y 1 por ciento de Goma de tara)
3. En el bioensayo respecto a la variable altura todos los tratamientos fueron superiores a los controles definidos, siendo para el caso de fuente orgánica el mejor tratamiento fue el T5 (1 por ciento de carragenina y 1 por ciento de goma de tara) y para el caso de fuente mineral el mejor tratamiento fue el T8 (1 por ciento de carragenina, 1 por ciento de almidón y 1 por ciento de goma de tara). Asimismo, el peso seco radicular evidencio un resultado favorable a la liberación lenta de nutrientes donde el mayor peso seco se evidencio en el control, el cual fue necesario ya que la raíz necesito expandirse más porque los nutrientes no se liberaron de forma lenta. Respecto al peso seco aéreo los tratamientos tanto para fuente orgánica y mineral fueron menor a lo controles por lo que se puede inferir que el peso aéreo no depende necesariamente del contenido de pellet.

4. Respecto al análisis de correlación de Pearson, se obtuvo correlación significativa para el caso de conductividad vs peso seco aéreo con fuente de nutrientes orgánico, asimismo también se registró correlación positiva significativa en la conductividad vs peso seco radicular para fuente de nutrientes orgánico. Para todos los demás casos no se presentó significancia estadística.

## **VI. RECOMENDACIONES**

1. Hacer ensayos con otras metodologías para medir la efectividad de la liberación lenta de nutrientes, como es el caso del método de incubación estándar, de bolsas de plástico o de columnas, donde se miden los nutrientes en el lixiviado que atraviesa el sustrato con la muestra de fertilizante de lenta liberación.
2. Realizar investigaciones con otros tipos de ligantes biodegradables, como es el caso de goma de guar, xantano, quitosano entre otros.
3. Realizar pruebas de retención de agua de los pellets, aprovechando la capacidad superabsorbente del residuo industrial poliacrilato de sodio.
4. Utilizar otras técnicas de pelletización para mejorar la compactación del fertilizante.
5. Realizar pruebas piloto del fertilizante de lenta liberación con diferentes tipos de suelo, así como ejecutar análisis de caracterización del suelo después de la prueba de campo.
6. Realizar un balance de nutrientes para toda la prueba de campo, lo que incluye los siguientes análisis: al pellet producido, al pellet final luego de culminada la prueba, al sustrato y a la planta por extracción de nutrientes.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Aguilar, EA. 2010. Utilización de las semillas de tara como ayudante de coagulación en el tratamiento de aguas. Tesis de pregrado. Lima, Perú. Universidad Nacional de Ingeniería. 54 p.
2. Almeida, S. 2004. Peletización de diferentes mezclas de almidones y sus derivados. Caracterización mediante técnicas de análisis de imagen. Tesis de pregrado. Santiago de Compostela, España. Universidad de Santiago de Compostela. 4 p.
3. Amir Zaman Khan; Muhammad Afzal; Asim Muhammad; Habib Akbar; Shad Khan Khalil; Said Wahab and Noor-ul-Amin. Influence of Slow Release Urea Fertilizer on Growth, Yield and N Uptake on Maize under Calcareous Soil Conditions. 4 (1), 70-79.
4. ASPAPEL (Asociación Española de Fabricantes de Pasta, Papel y Cartón). 2008. Guía de Gestión de Residuos.
5. Bajpai, P. 2011. Environmentally friendly production of pulp and paper. New Jersey, USA. John Wiley & Sons. 63-64 p.
6. Baziramakenga, R; Simard, R. 2001. Effect of de-inking paper sludge compost on nutrient uptake and yields of snap bean and potatoes grown in rotation. Compost Science, 9, 115– 126.
7. Boli Ni, Shaoyu Lü, and Mingzhu Liu. 2012. Novel Multinutrient Fertilizer and its Effect on Slow Release, Water Holding, and Soil Amending. Ind. Eng. Chem. Res. 2012, 51, 12993–13000

8. Borda, M. 2013. Efecto del residuo industrial poliacrilato de sodio en el crecimiento de plantas de tomate. Tesis de pre grado para optar el título de ingeniero ambiental. Lima, Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina.
9. Broschat, TK; Moore, KK. (2007) Release rates of ammonium-nitrogen, nitrate-nitrogen, phosphorus, potassium, magnesium, iron, and manganese from seven controlled-release fertilizers. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 38:843–850
10. Cahill, S; Osmond, D; Israel, D. 2010. Nitrogen release from coated urea fertilizers in different soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 41:1245–1256
11. Cayo, K. 2004. Residuos Industriales en el Perú. *Revista Gtech para gente emprendedora.*
12. Cui, S. 2005. Food carbohydrates: chemistry, physical properties, and applications. Florida, US, Editorial CRC Press. 410p
13. DAI Jian-jun; FAN Xiao-lin; YU Jian-gang; LIU Fang; ZHANG Qiao. 2008. Study on the Rapid Method to Predict Longevity of Controlled Release Fertilizer Coated by Water Soluble Resin. *Agricultural Sciences in China*, 7(9): 1127-1132
14. Edalat, M. 2012. Utilization of Pulp and Paper Mill Sludge as Filler in Nylon Biocomposite Production. Thesis for the degree of Doctor of Philosophy. Ontario, Canada. University of Toronto.
15. FAN Ruqin, LUO Jia, YAN Shaohua, ZHOU Yunlai, ZHANG Zhenhua. 2015. Effects of Biochar and Super Absorbent Polymer on Substrate Properties and Water Spinach Growth. *Pedosphere* 25(5): 737-748
16. Falu Zhan; Mingzhu Liu; Mingyu Guo; Lan Wu. 2004. Preparation of Superabsorbent Polymer with slow-release Phosphate Fertilizer. *Journal of Applied Polymer Science*, Vol 9: 3417-3421

17. FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2002. Los Fertilizantes y su Uso – Guía de Bolsillo. Cuarta edición
18. Fengjun Hua; Mengping Qian. 2001. Synthesis of self-crosslinking sodium polyacrylate hydrogel and water-absorbing mechanism. *Journal of Materials Science* 36: 731 – 738
19. Fernandez, R.; Benlloch, M.; Herrera, E.; García, J.M. 2003. Effect of traditional and slow-release N fertilizers on growth of olive nursery plants and N losses by leaching. *Scientia Horticulturae*. 101: 39–49
20. Garnica, C. 2013. Alternativas de gestión de lodos papeleros en la industria de papel tisú y kraft. Tesis de Grado. Bogotá, Colombia. Pontificia Universidad Javeriana. 25 – 30 p.
21. Gontia, P; Janssen, M. 2016. Life Cycle assessment of bio-based sodium polyacrylate production from pulp mill side streams: case study of thermo-mechanical and sulfite pulp mills. *Journal of Cleaner Production* 1-10
22. Gronlund, A. 2007. Controlled Release of Nitrogen Fertilizers. Department of Chemical Engineering, LTH, Lund University
23. Hagelqvist, A. 2013. Sludge from pulp and paper mills for biogas production. *Karlstad University Studies*. Faculty of Health, Science and Technology
24. Hao Wu; Baoshan Huang; Xiang Shu; Jian Yin. 2016. Utilization of solid waste/byproducts from Paper Mills in Controlled Low Strength Material. *Construction and Building Materials* 118: 155-163
25. He Xu-Sheng; LIAO Zong-wen; HUANG Pei-zhao; DUAN Ji-xian; GE Ren-shan; LI Hong-bo. 2007. Characteristics and Performance of Novel Water-Absorbent Slow Release Nitrogen Fertilizers. *Agriculture Science in China* 6 (3): 338-346

26. Hezaveh H.; Muhamad I. 2013. Controlled drug release via minimization of burst release in pH-response kappa carrageenan/polyvinyl alcohol hydrogels. *Chemical Engineering Research and Design*. 91 (3):508–519.
27. Hernandez, B; Peralta, A; Gutierrez, G. 2007. Efecto del hidrogel sobre el rendimiento de semilla en tres cultivares de *Brachiaria* spp en el valle de Iguala, gro., México. *Revista electrónica de Veterinaria*. VIII (9).
28. Hiroji Ishimoto; Takeshi Origuchi; Masahiro Yasuda. 2000. Use of Papermaking Sludge as New Material. *Journal of Materials in Civil Engineering*. 12( 4) : 310-313
29. Huett, DO; Gogel, BJ 2000. Longevities and nitrogen, phosphorus, and potassium release patterns of polymercoated controlled-release fertilizers at 30C and 40C. *Commun. Soil Sci. Plant Anal*. 31:959–973.
30. INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática). 2015. Perú: Anuario de Estadísticas Ambientales 2015.
31. Jiménez, S. 1992. Fertilizantes de liberación Lenta. Editorial Madrid. Madrid, España.
32. Kang Zhong, Zuan-Tao Lin, Xi-Liang Zheng, Gang-Biao Jiang, Yu-Sheng Fang, Xiao-Yun Mao, Zong-Wen Liao. 2013. Starch derivative-based superabsorbent with integration of water-retaining and controlled-release fertilizers. *Journal Carbohydrate Polymers*. 92 (2013) 1367– 1376
33. Kumar, M.; Gopala, GV; Sivasankar, V. 2015. Coagulation performance evaluation of natural and synthetic coagulants in waster water treatment. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*. 10 (6): 2714 – 2717.
34. Lixia Yang; Yang Yang; Zhang Chen; Chunxiao Guo; Shaocai Li. 2014. Influence of super absorbent polymer on soil water retention, seed germination and plant survivals for rocky slopes co-engineering. *Ecological Engineering* 62: 27-32.

35. Luther, C; Ozores-Hampton, M. 2012. Methods for Determining Nitrogen Release from Controlled-release Fertilizers Used for Vegetable Production. HortTechnology. 22 (1): 20-24.
36. Manikandan, A.; Subramanian, K.S. 2015. Evaluation of Zeolite Based Nitrogen Nano-fertilizers on Maize Growth, Yield and Quality on Inceptisols and Alfisols. International Journal of Plant & Soil Science 9(4): 1-9
37. Mechtcherine, V; Reinhardt, HW. 2012. Application of Superabsorbent Polymers (SAP) in Concrete Construction. RILEM State of the art reports. Dresden, Germany. 13p.
38. Melaj, M; Daraio, ME. 2012. Matrices Poliméricas Sólidas Basadas en Quitosano y Xantano para Liberación Controlada de Fertilizantes. Universidad de Buenos Aires. Avances en ciencia e Ingeniería: 3 (1): 1-9.
39. Mingyu Guo; Mingzhu Liu; Rui Liang; Aizhen Niu. 2005. Granular Urea-Formaldehyde Slow-Release Fertilizer with Superabsorbent and Moisture Preservation. Journal of Applied Polymer Science. 99 (6): 3230-3235
40. Monte, MC; Fuente, E.; Blanco, A.; Negro, C. 2009. Waste Management from pulp and paper production in the European Union. Waste Management. 29: 293-308.
41. Mosquera, DM. 2012. Estudio de Aprovechamiento de subproductos de Poliacrilato de Sodio y Celulosa Provenientes de la Industria Pañalera en Procesos de Perforación Petrolera. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia.
42. Naik, SK; Barman, D.; Rampal & Medhi, RP. (2013) Evaluation of electrical conductivity of the fertiliser solution on growth and flowering of a Cymbidium hybrid, South African Journal of Plant and Soil, 30:1, 33 -39
43. Ouis, M.A.; Abd-Eladl, M.; Abou-Baker, N.H. 2016. Evaluation of Agriglass as an Environment Friendly Slow Release Fertilizer. Silicon. 10: 293-298.

44. Pérez, S; Fernández, M; Villafranca, M; González, E; Flores, F. 2007. Controlled Release of Ammonium Nitrate from Ethylcellulose Coated Formulations. *Industrial Engineering Chemistry Research.*, 46 (10): 3304–3311
45. Pervaiz, M. 2012. Protein Recovery from Secondary Paper Sludge and Its Potential Use as Wood Adhesive. Thesis for the degree of Doctor of Philosophy. Department of Forestry. Ontario, Canada. University of Toronto
46. Rahim Yadollahi; Yahya Hamzeh; Alireza Ashori; Shademan Pourmousa; Mohammad Jafari; Kambiz Rashedi. 2012. Reuse of Waste Sludge from Papermaking Process in Cement Composites. *Journal of Polymer Engineering & Science.* 53 (1): 183-188.
47. Rashid, MT; Barry, D; Goss, M. (2006). Paper mill biosolids application to agricultural lands: benefits and environmental concerns with special reference to situation in Canada. *Soil & Environ.* 25(2): 85-98.
48. Redagráfcola. 2016. Fertilizantes de liberación lenta, controlada y estabilizados. Capítulo de Nutrición, Setiembre: 62-68 p
49. Salgado, S; Núñez, R. 2010. Manejo de Fertilizantes químicos y orgánicos. Editorial: Fundación Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas A.C. Málaga, España.
50. Sartain, JB; Hall, WL; Littell, RC; Hopwood, EW. 2004. New tools for the analysis and characterization of slow release fertilizers. In: W.L. Hall and W.P. Robarge (eds.). *Environmental impact of fertilizer on soil and water.* American Chemistry Society Washington, DC. 180–195 p.
51. Scott, M; Smith, A; Abubakr, S. (1995). Sludge Characteristics and Disposal Alternatives for Recycled Fiber Plants. In *Proceedings of the 1995 Tappi Recycling Symposium.* Atlanta, GA: Tappi Press. 239-249 p.
52. Singh, A; Sharma, PK; Malviya, R. Release behavior of drugs from various natural gums and polymers. *Polimery w medycynie* 41(4):73-80.

53. Terlingen, JGA; Hojjatie, M; Carney, F. 2014. Review of Analytical Methods for Slow- and Controlled Release Fertilizers. Paris, France. International Fertilizer Industry Association (IFA). 9 – 11 p.
54. Teschke, K; Demers, P. 2001. Industria del papel y de la pasta de papel. Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo. España. INSHT
55. Trenkel, ME. 2010. Slow- and Controlled-Release and Stabilized Fertilizers: An Option for Enhancing Nutrient Use Efficiency in Agriculture. Paris, France. International Fertilizer Industry Association (IFA).
56. Universidad Pontificia Bolivariana (UPB). 2010. Análisis de Peligrosidad de Lodo Papelero. Bogotá, Colombia.
57. U.S. Congress, Office of Technology Assessment, Technologies for Reducing Dioxin in the Manufacture of Bleached Wood Pulp, OTA-BP-O-54 (Washington, DC: U.S. Government Printing Office, May 1989)
58. Wenhua Zhuang; Longguo Li; Chao Liu. 2013. Effects of sodium polyacrylate on water retention and infiltration capacity of a sandy soil. SpringerPlus 2(Suppl 1):S11: 2 -7.
59. World Bank Group. 1998. Pulp and Paper Mills. Pollution Prevention and Abatement Handbook
60. Xiaodi Lia; Qian Lia; Xing Xua; Yuan Sua; Qinyan Yuea; Baoyu Gao. 2015. Characterization, swelling and slow-release properties of a new controlled release fertilizer based on wheat straw cellulose hidrogel. Journal of Taiwan Institute of Chemical Engineers 00: 1-9

61. Xi Li; Ji-Zheng He; Hughes, JM; Yu-Rong Liu; Yuan-Ming Zheng. 2014. Effects of super-absorbent polymers on a soil-wheat (*Triticumaestivum* L.) system in the field. *Applied Soil Ecology* 73: 58-63
62. Yongsheng Niu and Hongchun Li. 2012. Controlled Release of Urea Encapsulated by Starch-g-poly (vinyl acetate). *Industrial Engineering Chemistry Research*. 51, 12173–12177
63. Yu Guan, Chao Song, Yantai Gan, Feng-Min Li. Increased maize yield using slow-release attapulgitecoated fertilizers. *Agronomy for Sustainable Development*, Springer Verlag. 34 (3): 657-665

## **VIII. ANEXOS**

Los anexos contienen firmas y datos  
personales, favor de consultar el ejemplar  
impreso disponible en la Sala Tesis de la  
Biblioteca Agrícola Nacional - UNALM

## ANEXO 1. ANALISIS DE CORRELACIÓN DE PEARSON

Correlación Conductividad eléctrica vs Altura de maíz (Fuente Orgánica)

		ConductividadFO	AlturaFO
ConductividadFO	Pearson Correlation	1	-,223
	Sig. (2-tailed)		,294
	N	24	24
AlturaFO	Pearson Correlation	-,223	1
	Sig. (2-tailed)	,294	
	N	24	24

Correlación Conductividad eléctrica vs Peso seco aéreo (Fuente Orgánica)

		ConductividadF O	Pesosecoaereo FO
ConductividadFO	Pearson Correlation	1	,540**
	Sig. (2-tailed)		,006
	N	24	24
PesosecoaereoFO	Pearson Correlation	,540**	1
	Sig. (2-tailed)	,006	
	N	24	24

\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Correlación Conductividad eléctrica vs Peso seco radicular (Fuente Orgánica)

		ConductividadF O	Pesosecoradicu larFO
ConductividadFO	Pearson Correlation	1	,653**
	Sig. (2-tailed)		,001
	N	24	24
PesosecoradicularFO	Pearson Correlation	,653**	1
	Sig. (2-tailed)	,001	
	N	24	24

\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Correlación Conductividad eléctrica vs Altura (Fuente Mineral)

		ConductividadFM	AlturaFM
ConductividadFM	Pearson Correlation	1	,267
	Sig. (2-tailed)		,208
	N	24	24
AlturaFM	Pearson Correlation	,267	1
	Sig. (2-tailed)	,208	
	N	24	24

Correlación Conductividad eléctrica vs Peso seco aéreo (Fuente Mineral)

		ConductividadF M	Pesosecoaereo FM
ConductividadFM	Pearson Correlation	1	,371
	Sig. (2-tailed)		,074
	N	24	24
PesosecoaereoFM	Pearson Correlation	,371	1
	Sig. (2-tailed)	,074	
	N	24	24

Correlación Conductividad eléctrica vs Peso seco aéreo (Fuente Mineral)

		ConductividadF M	Pesosecoradicu larFM
ConductividadFM	Pearson Correlation	1	-,122
	Sig. (2-tailed)		,570
	N	24	24
PesosecoradicularFM	Pearson Correlation	-,122	1
	Sig. (2-tailed)	,570	
	N	24	24

## ANEXO 2. ANALISIS DE VARIANCA Y PRUEBA DE TUKEY

### ANALISIS DE CONDUCTIVIDAD ELECTRICA DE PELLET EN MEDIO ACUOSO

#### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Conductividad Eléctrica	48	0.97	0.95	6.30

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	431833.33	15	28788.89	63.68	<0.0001
Tratamientos	431833.33	15	28788.89	63.68	<0.0001
Error	14466.67	32	452.08		
Total	446300.00	47			

#### Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=64.37442

Error: 452.0833 gl: 32

Tratamientos	Medias	n	E.E.							
t13	183.33	3	12.28	A						
t11	186.67	3	12.28	A						
t7	223.33	3	12.28	A						
t9	233.33	3	12.28	A	B					
t14	293.33	3	12.28		B	C				
t5	313.33	3	12.28			C	D			
t1	313.33	3	12.28			C	D			
t3	316.67	3	12.28			C	D			
c1	373.33	3	12.28				D	E		
c2	376.67	3	12.28				D	E		
t8	376.67	3	12.28				D	E		
t4	390.00	3	12.28					E		
t12	400.00	3	12.28					E	F	
t6	436.67	3	12.28					E	F	
t2	463.33	3	12.28						F	G
t10	520.00	3	12.28							G

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

## ANÁLISIS DE ALTURA DE MAÍZ

### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Altura	51	0.90	0.85	6.47

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	18796.82	16	1174.80	18.92	<0.0001
Tratamientos	18796.82	16	1174.80	18.92	<0.0001
Error	2111.14	34	62.09		
Total	20907.96	50			

### Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=23.99718

Error: 62.0922 gl: 34

Tratamientos	Medias	n	E.E.		
c3	50.71	3	4.55	A	
c2	112.33	3	4.55	B	
c1	117.08	3	4.55	B	C
t14	117.67	3	4.55	B	C
t3	119.25	3	4.55	B	C
t1	120.00	3	4.55	B	C
t2	121.00	3	4.55	B	C
t13	125.00	3	4.55	B	C
t7	125.42	3	4.55	B	C
t11	128.67	3	4.55	B	C
t10	130.00	3	4.55	B	C
t6	131.50	3	4.55	B	C
t9	131.92	3	4.55	B	C
t4	132.50	3	4.55	B	C
t12	135.08	3	4.55	B	C
t8	136.42	3	4.55		C
t5	137.08	3	4.55		C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

## ANÁLISIS DE PESO SECO PARTE RADICULAR

### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
PesoSecoRadicular	51	0.84	0.77	12.87

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	308.07	16	19.25	11.56	<0.0001
Tratamientos	308.07	16	19.25	11.56	<0.0001
Error	56.62	34	1.67		
Total	364.69	50			

### Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=3.92995

Error: 1.6653 gl: 34

Tratamientos	Medias	n	E.E.				
c3	3.11	3	0.75	A			
t12	8.54	3	0.75		B		
t13	8.56	3	0.75		B		
t9	8.56	3	0.75		B		
t8	9.20	3	0.75		B		
t4	9.20	3	0.75		B		
t5	9.52	3	0.75		B		
t11	9.84	3	0.75		B	C	
t6	9.98	3	0.75		B	C	
t10	10.12	3	0.75		B	C	
t7	10.24	3	0.75		B	C	
t14	10.69	3	0.75		B	C	
t1	10.96	3	0.75		B	C	
t2	11.11	3	0.75		B	C	
t3	11.89	3	0.75		B	C	D
c1	13.57	3	0.75			C	D
c2	15.33	3	0.75				D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

## ANÁLISIS DE PESO SECO PARTE AÉREA

### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
PesoSecoAereo	51	0.94	0.92	6.69

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	2748.65	16	171.79	34.93	<0.0001
Tratamientos	2748.65	16	171.79	34.93	<0.0001
Error	167.22	34	4.92		
Total	2915.87	50			

### Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=6.75370

Error: 4.9181 gl: 34

Tratamientos	Medias	n	E.E.		
c3	4.79	3	1.28	A	
t13	30.48	3	1.28	B	
t7	32.94	3	1.28	B	C
t1	32.97	3	1.28	B	C
t11	33.25	3	1.28	B	C
t14	33.66	3	1.28	B	C
t4	33.85	3	1.28	B	C
t3	34.07	3	1.28	B	C
t5	34.31	3	1.28	B	C
t10	35.48	3	1.28	B	C
t9	35.79	3	1.28	B	C
t8	36.05	3	1.28	B	C
t12	36.37	3	1.28	B	C
c2	36.39	3	1.28	B	C
t2	36.95	3	1.28	B	C
t6	37.74	3	1.28		C
c1	38.14	3	1.28		C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

## ANEXO 4. FICHAS TÉCNICAS

### FICHA TÉCNICA DE ALOPES FORTE

#### **ALOPES** (biofertilizante de pescado)

Bionutriente de última generación, activador de procesos fisiológicos, producto de hidrólisis enzimática de pescado y procesos fermentativos, rico en aminoácidos, péptidos, macro y micro nutrientes.

#### Propiedades y ventajas:

- Vigoriza a la planta
- Incrementa el área foliar
- Incrementa la floración, mejorando el cuajo y calidad del fruto
- Protege a las plantas de insectos y enfermedades
- Mejora el suelo
- Favorece la acción de los microorganismos existentes en el suelo
- Acidificante orgánico.

#### *Recomendaciones de uso:*

- Aplicar cuando las plantas están en actividad, siempre después del riego.
- No necesita adherente
- Agítelo antes de usar
- Después de usar el producto tápelo herméticamente
- Una vez preparada la solución nutritiva usarlo inmediatamente.

**Dosis:** 1 Lt / cilindro de 100 Lt de agua

#### *Composición Química:*

• pH	4.42
• M.O. g/Lt	311.74
• N mg/Lt	22498
• P Total mg/L	2118.4
• K Total mg/	3720
• Fe Total mg/L	32.5
• Cu Total mg/Lt	0.8
• Zn Total mg/Lt	3.10
• Mn Total mg/Lt	1.2
• B Total mg/Lt	250.8
• Ca Total mg/Lt	1392
• Mg Total mg/Lt	384

**Fuente:** NOGA-FER PERÚ

## FICHA TÉCNICA NITRATO DE AMONIO



Ficha Técnica  
Fertilizantes Nitrogenados

### NITRATO DE AMONIO ESTABILIZADO (NAE)

**Composición:**  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  estabilizado con fósforo.

**Aspecto:** Gránulos blancos opacos.

**Solubilidad (aproximada a 20°C):** 190 Kg en 100 L de agua pura.

**Nitrógeno Total (N):** 33 %

**Presentación:** Granulado en sacos de 50 kg.

**Uso:** Fertilizante para aplicación directa al suelo. Se puede emplear en fertirriego en cuyo caso hay que tomar en cuenta que el fósforo estabilizante y/o la cubierta de cada gránulo pueden ser factores limitantes.



ÁREA TÉCNICA

[www.molinoscia.com](http://www.molinoscia.com)

[ventasmolinos@molicom.com.pe](mailto:ventasmolinos@molicom.com.pe)

LIMA: Av. Los Ingenieros 154, Urb. Santa Raquel 2da Etapa, Ate - Lima  
Central Telefónica: (01) 512 3370 // Fax: (01) 348 0637 / (01) 348 0615

## FICHA TÉCNICA GOMA DE TARA

### Definición

La goma de tara se obtiene triturando el endospermo de las semillas de cepas naturales de *Caesalpinia spinosa* (Fam. *Leguminosae*). Consiste mayoritariamente en polisacáridos de elevado peso molecular, sobre todo galactomananos. El componente principal consiste en una cadena lineal de unidades de (1-4)- $\beta$ -D-manopiranosas con unidades de  $\alpha$ -D-galactopiranosas con enlaces (1-6). La proporción entre manosa y galactosa en la goma de tara es de 3:1. (En la goma de algarrobo esta proporción es de 4:1 y en la goma de guar es de 2:1).

### Descripción

*Polvo de color blanco o blanco amarillento, casi inodoro*

### Identificación

#### A. Solubilidad

*Soluble en agua  
Insoluble en etanol*

#### B. Formación de gel

*Al añadir pequeñas cantidades de borato sódico a una solución acuosa de la muestra se forma gel*

### Pureza

<b>Olor</b>	Inodoro
<b>Sabor</b>	Sin sabor
<b>Humedad</b>	Máxima 14 %
<b>Cenizas</b>	No más del 1,5 %
<b>Grasa</b>	Máximo 0.50 %
<b>Pérdida por desecación</b>	No más del 15 %
<b>Materia insoluble en ácido</b>	No más del 2 %
<b>Proteínas</b>	No más del 3,5 % (factor N $\times$ 5,7)
<b>Almidón</b>	No detectable
<b>Arsénico</b>	No más de 3 mg/kg
<b>Plomo</b>	No más de 5 mg/kg
<b>Mercurio</b>	No más de 1 mg/kg

<b>Cadmio</b>	No más de 1 mg/kg
<b>Metales pesados (expresados en Pb)</b>	No más de 20 mg/kg
<b>ESTABILIDAD</b>	
<b>Luz</b>	Excelente
<b>Calor</b>	Excelente
<b>pH</b>	5,0 y 7,0
<b>VISCOSIDAD</b>	
<b>Properties</b> : Viscosity 1% solution, Brookfield RVT, a 20 RPM , Spindle 4.	
<u>Hot Dissolution 86 °C 10 min.</u>	
Measured at 25 °C	5000-6000 cPs
<u>Cold Dissolution 25 °C</u>	
After 30 min.	3500-4000 cPs
After 24 hours	4500-5500 cPs
<b>APLICACIONES</b>	
Goma de Tara se usa principalmente para espesar soluciones acuosas y para controlar la movilidad de materiales dispersados o disueltos.	
Esta goma posee las características propias de las gomas vegetales, actuando como espesante, aglomerante, estabilizador, coloide y capa protectora. Posee la ventaja de ser incolora, insípida, muy estable y altamente resistente a la descomposición	

**Fuente: ALNICOLSA PRODUCTOS AGROINDUSTRIALES**

# FICHA TÉCNICA CARRAGENINA

## CARRAGENINA TEX-COLOR-MEAT & TEX-MEAT

### Descripción:

Carragenina semi-refinada. En sus dos versiones *TEX-MEAT*(sin color) o *TEX-COLOR-MEAT*(con color rojo natural micro encapsulado)

### Aplicación:

En carnes procesadas, ya sea con alta inyección bajando el uso de proteínas y féculas o en Jamones genuinos evitando la sinéresis y mejorando el brillo.

### Características:

Mejora la textura, jugosidad y suavidad de las carnes, aves y pescados, a la vez preserva la integridad del producto.

En caso del *TEX-COLOR-MEAT* no solo da al fiambre cocido una excelente textura sino que le confiere al producto terminado un color rosa con una excelente estabilidad a la oxidación por acción de la luz o al aire.

### Dosis aproximada:

0.3% a 0.5% sobre producto terminado dependiendo esta dosis del tipo y cantidad de cargas proteicas y farináceos utilizadas.

### Envase

Bolsas de 25 Kg.

### Almacenamiento:

Conservar en lugar seco, fresco y apartado de otros elementos de fuerte aroma.

### Vida útil:

A temperatura ambiente y sin abrir, el producto tiene una duración de 6 meses a partir de la fecha de elaboración.

La información aquí contenida es según nuestro conocimiento verdadera y correcta, y presentada de buena fe. Puede sufrir modificaciones sin previo aviso. Ninguna garantía contra infringimiento o patentes está implícita o inferida. Consultar con nuestro equipo técnico para optimizar el uso de tex color meat y tex meat

**ANEXO 5. RESULTADOS DE MEDICIÓN  
RESULTADOS DE MEDICIÓN DE CONDUCTIVIDAD**

Tratamiento	Tiempo en minutos																
	5	10	15	20	25	30	35	40	50	60	70	80	100	120	140	160	180
C1R1	40	50	60	70	120	150	160	170	190	210	230	260	280	290	320	340	390
C1R3	30	40	150	160	190	210	220	220	240	260	270	280	300	330	340	360	380
C2R1	50	60	80	100	110	120	130	140	150	160	180	200	250	280	320	360	400
T1R1	50	60	60	70	80	90	100	100	110	120	140	160	190	230	270	290	310
T2R1	80	100	100	100	110	120	130	160	190	210	230	250	280	320	360	390	450
T3R1	70	100	110	130	140	150	160	170	180	200	240	250	270	270	290	310	320
T4R1	130	140	160	180	190	200	210	220	230	260	280	300	340	370	400	430	460
T5R1	90	100	120	130	140	150	160	170	180	190	200	230	240	260	290	290	320
T6R1	120	140	150	160	170	200	220	230	240	250	270	290	320	350	380	400	440
T7R1	40	50	60	70	80	90	100	100	120	130	140	150	170	200	210	230	250
T8R1	80	90	90	100	110	120	120	140	150	170	190	210	230	290	330	350	390
T9R1	50	60	70	80	80	100	110	120	130	140	150	160	170	180	210	230	230
T10R1	40	70	180	220	230	250	260	290	330	340	360	380	400	440	460	510	520
T11R1	50	60	70	70	80	90	90	100	110	120	130	140	150	170	190	200	210
T12R1	50	60	70	100	110	120	130	140	140	150	160	210	240	260	270	350	390
T13R1	50	50	60	60	60	70	70	70	80	90	100	110	120	140	150	180	200
T14R1	60	70	70	80	80	80	90	100	110	120	130	140	160	210	240	270	310

## RESULTADOS DE MEDICIÓN DE ALTURA

	R1				R2				R3			
T1	115	112	118	125	117	122	116	121	127	116	134	117
T2	109	98	110	116	125	130	129	125	97	126	140	147
T3	116	128	126	125	118	105	101	117	121	134	128	112
T4	134	141	142	136	135	119	140	142	129	130	119	123
T5	130	136	127	129	135	144	138	139	148	140	143	136
T6	130	120	130	135	115	127	130	136	158	140	117	140
T7	143	113	132	135	130	108	115	119	118	133	123	136
T8	136	153	145	139	142	146	142	132	128	127	115	132
T9	118	113	120	123	144	145	127	143	140	116	143	151
T10	142	126	119	106	112	122	127	135	144	145	136	146
T11	138	139	147	153	122	123	119	117	111	128	126	121
T12	127	133	147	138	137	133	143	131	138	134	123	137
T13	126	122	120	115	136	118	131	132	116	130	126	128
T14	130	98	127	132	101	113	106	118	125	122	136	104
C1	119	124	134	119	110	111	111	129	113	116	116	103
C2	110	111	122	97	119	124	118	122	97	99	104	125
C3	46	61.5	54	47	47	49	55	52	49	50	47	51

## RESULTADOS DE MEDICIÓN DE PESO SECO RADICULAR

	Wo			Wf		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3
T1	49.787	56.271	67.76	10.093	11.44	11.347
T2	78.042	48.985	43.035	13.185	11.345	8.79
T3	60.747	77.521	43.232	11.092	14.099	10.47
T4	43.497	28.903	71.407	8.98	7.22	11.401
T5	41.483	51.498	52.13	9.913	9.663	8.984
T6	74.576	50.82	33.909	11.548	8.999	9.394
T7	47.251	64.086	49.466	9.355	11.668	9.708
T8	40.565	50.898	53.115	7.712	9.382	10.494
T9	24.632	37.982	61.126	7.804	8.795	9.09
T10	59.672	66.34	36.19	10.404	11.926	8.016
T11	45.34	63.316	51.142	8.417	10.599	10.499
T12	25.881	30.975	32.546	8.053	8.632	8.932
T13	24.158	38.125	17.514	8.154	10.102	7.42
T14	37.791	72.582	79.316	10.887	10.292	10.899
C1	80.225	79.084	95.565	13.231	13.479	14.008
C2	106.745	91.639	128.437	16.167	15.348	14.473
C3	34.531	25.468	22.367	3.196	2.761	3.377

## RESULTADOS DE MEDICIÓN DE PESO SECO AÉREO

	Wo			Wf		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3
T1	169.391	173.182	179.263	31.085	33.75	34.073
T2	181.564	188.119	209.23	34.597	36.072	40.181
T3	196.271	174.369	194.27	35.074	31.863	35.264
T4	209.75	190.89	196.531	35.662	32.319	33.575
T5	197.336	216.128	202.617	33.39	34.466	35.069
T6	226.302	184.66	231.533	39.119	33.621	40.475
T7	207.922	196.041	196.525	33.516	31.226	34.081
T8	273.515	201.482	209.954	40.328	34.648	33.176
T9	176.581	217.889	235.644	30.96	37.732	38.673
T10	200.305	199.767	211.826	34.796	33.725	37.915
T11	216.913	196.442	196.656	35.858	31.679	32.222
T12	206.77	219.049	218.116	36.243	36.253	36.624
T13	174.026	202.752	184.184	30.461	32.256	28.725
T14	198.196	173.195	179.688	32.693	34.71	33.587
C1	204.75	202.445	187.784	38.878	39.039	36.494
C2	185.962	195.99	182.107	36.095	37.704	35.371
C3	21.815	18.561	22.632	4.923	4.154	5.307

## ANEXO 6. GALERÍA FOTOGRÁFICA

### A. PRUEBA DE LABORATORIO

#### 1. Lodo de papel



#### 2. Residuo Industrial – Poliacrilato de Sodio



3. Trituración de fertilizante químico (Nitrato de amonio)



4. Lodo de papel; fertilizante líquido (Alopes), y Poliacrilato de sodio



5. Lodo de papel; fertilizante químico (nitrato de amonio), y poliacrilato de sodio



6. Agentes ligantes; de derecha a izquierda: Goma de tara; carragenina y almidón



## 7. Homogenización de componentes



## 8. Peletización de la mezcla



## 9. Peletización



## 10. Pellet preliminar



## 11. Secado de Pellets



## 12. Pellets después del secado



## 13. Prueba de liberación de nutrientes (Uso de Shaker incubator)



#### 14. Medición de conductividad eléctrica



### **B. PRUEBA DE CAMPO**

#### 15. Lavado de arena de río



16. Arena de río secada



17. Disposición de arena por maceta (3kg por maceta)



18. Componentes por maceta (3kg de arena, pellets, superfosfato triple)



19. Semillas de maíz variedad PM -213



20. Disposición de cinco semillas de maíz por maceta



21. Macetas de todos los tratamientos



22. Macetas de todos los tratamientos



23. Cloruro de Potasio



## 24. Pesado de cloruro de Potasio



## 25. Disolución de cloruro de potasio



## 26. Cosecha de maíz



## 27. Medición de altura de maíz



## 28. Medición de altura de maíz



## 29. Corte de parte aérea ( Tallos y hojas)



### 30. Empaquetado de parte aérea



### 31. Secado de parte radicular



### 32. Empaquetado de parte radicular



### 33. Pesado de parte aérea y radicular

