

**CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 10718-08 suscrito entre  
la Corporación Autónoma Regional Para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga y la  
Universidad Industrial de Santander**

**EVALUACIÓN DEL COMPOSTAJE DE MATERIALES DE  
ENMIENDA Y DE LOS RESIDUOS PROVENIENTES DEL  
CULTIVO DE LA *CEBOLLA JUNCA* EN EL PÁRAMO DE  
BERLÍN, SANTANDER**



**GRUPO DE INVESTIGACIÓN  
GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN RECURSOS HÍDRICOS Y SANEAMIENTO  
AMBIENTAL - GPH**

Bucaramanga, diciembre del 2017

**CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 10718-08 suscrito entre  
la Corporación Autónoma Regional Para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga y la  
Universidad Industrial de Santander**

**EVALUACIÓN DEL COMPOSTAJE DE MATERIALES DE ENMIENDA Y DE LOS  
RESIDUOS PROVENIENTES DEL CULTIVO DE LA *CEBOLLA JUNCA* EN EL  
PÁRAMO DE BERLÍN, SANTANDER**

**Informe Final**

**GRUPO DE INVESTIGACIÓN  
GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN RECURSOS HÍDRICOS Y SANEAMIENTO  
AMBIENTAL - GPH**

Bucaramanga, diciembre del 2017

Este informe fue desarrollado en el proyecto “**Evaluación del compostaje de materiales de enmienda y de los residuos provenientes del cultivo de la cebolla junca en el páramo de Berlín, Santander**” en el marco del CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 10718-08, suscrito entre la Corporación Autónoma Regional Para la **Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB) – Universidad Industrial de Santander (UIS)**.

Fue elaborado por el grupo de investigación en Recursos Hídricos y Saneamiento Ambiental de la UIS, con la participación continua de funcionarios de la CDMB.

### **Equipo de trabajo del proyecto**

Director	Edgar Ricardo Oviedo, Ing. MSc, PhD.
Coinvestigadores	Isabel Cristina Dominguez, Ing. MSc, PhD Mario Garcia Solano, Ing. MSc
Estudiantes vinculados	Haminton Arias Angélica Hernández Paola Meneses Laura Arévalo

### **Comité de Seguimiento**

CDMB	María Carmenza Vicini, Ing. Pedro Anaya, Ing.
------	--

Se extiende un agradecimiento a la señora alcaldesa del municipio de Tona, Carmen Lucero Ramírez, por apoyar la realización de este proyecto en el corregimiento de Berlín, así como a la Ingeniera Ambiental Angela Patricia Celis, funcionaria de la Alcaldía de Tona, quien ayudó a coordinar reuniones con agricultores de cebolla junca en el corregimiento de Berlín. Especial agradecimiento a los agricultores que participaron en el monitoreo de las pilas de compostaje demostrativas: Mauricio Pulido, Fernando Pulido, Juan de la Cruz Reatiga y Darío Villamizar Rua.

---

## TABLA DE CONTENIDO

<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>1</b>
<b>LISTA DE TABLAS .....</b>	<b>1</b>
<b>1 INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>2</b>
<b>2 OBJETIVOS.....</b>	<b>4</b>
2.1 GENERAL .....	4
2.2 ESPECÍFICOS.....	4
<b>3 MARCO CONCEPTUAL .....</b>	<b>5</b>
3.1 PROCESO DE COMPOSTAJE .....	5
3.1.1 Fase de latencia (mesofílica): .....	5
3.1.2 Fase activa (termofílica): .....	5
3.1.3 Fase de estabilización: .....	5
3.1.4 Fase de maduración: .....	5
3.2 PARÁMETROS DEL PROCESO .....	6
3.2.1 Porosidad del sustrato: .....	6
3.2.2 Contenido de humedad.....	7
3.2.3 Concentración de oxígeno.....	7
3.2.4 Temperatura .....	7
3.2.5 Relación Carbono – Nitrógeno C/N.....	8
3.2.6 pH.....	8
3.2.7 Conductividad eléctrica (CE).....	9
3.3 CALIDAD DEL PRODUCTO.....	9
<b>4 ESTADO DEL ARTE.....</b>	<b>12</b>
4.1 COMPOSTAJE DE POLLINAZA .....	12
4.2 COMPOSTAJE DE POLLINAZA Y OTROS SUSTRATOS .....	12
4.2.1 Zeolita natural.....	12
4.2.2 Paja de trigo.....	12
4.2.3 Biocarbón .....	13
4.2.4 Paja de arroz.....	13
4.2.5 Tusas, aserrín y virutas de madera .....	13
4.2.6 Fracción orgánica de residuos sólidos municipales (FOROS).....	13
4.3 COMPOSTAJE DE RESIDUOS DE CEBOLLA JUNCA.....	14
<b>5 MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>16</b>
5.1 RECONOCIMIENTO DEL ÁREA.....	16
5.2 SELECCIÓN DE MATERIALES .....	16
5.2.1 Conformación de tratamientos .....	17
5.3 MONTAJE EXPERIMENTAL.....	17
5.4 MONITOREO DEL PROCESO .....	18
5.5 PRUEBAS DE MADUREZ Y ESTABILIDAD .....	18
5.5.1 Prueba de germinación .....	19
5.5.2 Prueba de estabilidad (Autocalentamiento).....	20
5.5.3 Prueba de olor y color.....	20
5.6 LEVANTAMIENTO DE LAS PILAS.....	20
5.7 MONTAJE DEMOSTRATIVO .....	21
<b>6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>23</b>
6.1 ANÁLISIS DE LOS SUSTRATOS .....	23

---

6.2	ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DURANTE EL PROCESO .....	24
6.2.1	<i>Temperatura</i> .....	24
6.2.2	<i>Humedad</i> .....	26
6.2.3	<i>Conductividad eléctrica (CE)</i> .....	26
6.2.4	<i>Aireación</i> .....	27
6.2.5	<i>pH</i> .....	27
6.3	ANÁLISIS DE CALIDAD DEL PRODUCTO.....	28
6.3.1	<i>Porcentaje de reducción</i> .....	28
6.3.2	<i>Índice de germinación (IG)</i> .....	29
6.3.3	<i>Prueba de Estabilidad (Autocalentamiento)</i> .....	30
6.3.4	<i>Análisis organolépticos</i> .....	30
6.3.5	<i>Análisis fisicoquímicos</i> .....	31
6.3.6	<i>Análisis microbiológico</i> .....	33
6.4	MONTAJE Y MONITOREO PILAS DEMOSTRATIVAS.....	34
<b>7</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>35</b>
<b>8</b>	<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>37</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>42</b>
	Anexo A. Prueba De Estabilidad Realizada A La Pollinaza Con El Equipo Rm 82.....	1
	Anexo B. Descripción De Estudios Realizados A Procesos De Compostaje Con Residuos Agrícolas .....	3
	Anexo C. Informe De Resultados De Las Muestras De Pollinaza Y Residuos De Cebolla Con Diferentes Periodos De Degradación .....	4
	Anexo D. Informe De Resultados De Las Muestras De Estiércol Ovino Fresco Y Antigo, Estiércol Bovino Fresco Y Antigo, Residuos Orgánicos Y Residuos De Papa.....	10
	Anexo E. Balance De Masa Realizado Con Valores Teóricos.....	14
	Anexo F. Disposición De Las Pilas En El Área Experimental.....	15
	Anexo G. Planillas De Registros Del Monitoreo De Las Pilas .....	16
	Anexo H. Pruebas De Estabilidad Realizadas A Cada Uno De Los Productos Obtenidos .....	34

---

## Lista de Figuras

Figura 1. Curva típica de temperatura.	6
Figura 2. Distribución de temperatura dentro de las pilas	8
Figura 3. Curvas típicas de pH, temperatura y relación C/N durante el proceso de compostaje	9
Figura 4. Área experimental	16
Figura 5. Pilas cónicas tratamiento A, B y C	17
Figura 6. Equipos usados para realizar mediciones de humedad, pH y CE	18
Figura 7 (a, b). Humectación y volteos manuales	18
Figura 8. Prueba de germinación día 36	19
Figura 9. Dispositivo de medición del grado de madurez RM 82	20
Figura 10. Tamizaje de los productos obtenidos	21
Figura 11 (a, b). Montaje demostrativo en el páramo de Berlín	22
Figura 12. Comportamiento de la temperatura en los tratamientos A, B y C	25
Figura 13. Valores de pH para los Tratamientos A, B y C	28
Figura 14. Índices de germinación	29
Figura 15. Transformación biológica de la pila TBD	34
Figura 16. Monitoreo con los agricultores días 7, 21 y 42 del proceso	34

## Lista de tablas

Tabla 1. Calidad del compost según NTC 5167	10
Tabla 2. Características de materiales compostados con pollinaza.	14
Tabla 3. Características de materiales compostados con cebolla junca.	14
Tabla 4. Parámetros físico químicos al inicio del proceso	23
Tabla 5. Porcentaje de reducción de las pilas de compostaje	29
Tabla 6. Grado de descomposición de cada tratamiento	30
Tabla 7. Estado, Color y Textura de los productos	31
Tabla 8. Parámetros físico químicos al finalizar el proceso	31
Tabla 9. Análisis microbiológico de los productos obtenidos	33

---

## 1 Introducción

Los páramos andinos son identificados como ecosistemas estratégicos que prestan importantes servicios ecosistémicos (Otero et al., 2011). Sin embargo, hay factores ambientales y sociales que han degradado severamente estos ecosistemas, alterando las condiciones físicas y químicas de sus suelos (Podwojewski y Poulénard, 2000), la biodiversidad de la flora y fauna, y la oferta y calidad del recurso hídrico (Holden et al., 2007). El conocimiento de estos desequilibrios en la estructura y funcionalidad del subsistema suelo y su impacto en el recurso hídrico son poco conocidos (Quichimbo et al., 2012).

Las actividades antropogénicas como las prácticas de agricultura están entre las que mayor impacto ambiental genera en los ecosistemas de páramos andinos. La preparación del suelo para la agricultura con frecuencia libera parte de los nutrientes inmovilizados o capturados (i.e. solo están disponibles por periodos cortos de tiempo) y altera las propiedades físicas del suelo. Esto es más crítico en los páramos debido a que estos ecosistemas tienen baja resiliencia, recuperación lenta (Otero et al., 2011) y mayor vulnerabilidad a las variaciones climáticas (Quichimbo et al., 2012).

Estudios en páramos andinos (Otero et al., 2011; Daza et al., 2014) muestran que actividades de agricultura como el cultivo de papa y la ganadería afectan las condiciones del suelo en estos ecosistemas (i.e. se acidifica), debido a la adición de estiércol en el proceso de siembra, y por lo tanto afectando la disponibilidad y absorción de nutrientes por las plantas. Sin embargo, pocos estudios han profundizado en la cuantificación de la incidencia de estas actividades en la erosión del suelo y la pérdida de nutrientes.

El páramo de Berlín (Colombia) posee una biodiversidad que aunada con el potencial de hídrico lo convierte en un territorio estratégico como oferente de servicios ecosistémicos para el nororiente colombiano. Este páramo está localizado al norte de la cordillera oriental en la unidad biogeográfica de Santurbán y tiene una extensión de 44.272 hectáreas compartidas por los departamentos de Santander y Norte de Santander (Suarez et al., 2008). Por sus atributos ambientales, sus funciones ecológicas y su importancia en la provisión del recurso hídrico, Berlín fue considerado dentro de las prioridades de conservación del nororiente colombiano y declarado como Distrito de Manejo Integrado de los Recursos Naturales Renovables (DMI) desde el 2007 (Suarez et al., 2008).

Acorde con la declaración de DMI del páramo del Berlín, se presentan áreas dentro del páramo en las que se pueden desarrollar actividades de producción agropecuaria, en el marco de un modelo de aprovechamiento sostenible del recurso suelo y el uso racional de recursos conexos como el agua (Suarez et al., 2008). De igual manera, el Instituto Humboldt en el marco de la delimitación de páramos, ha enfatizado en la necesidad de construir participativamente un régimen de transición que asegure el bienestar de los habitantes del páramo y que a su vez cumpla con los objetivos trazados para la conservación de los mismos. Para tal efecto, ha indicado la necesidad de identificar sistemas de producción de bajo impacto y mecanismos de restauración apropiados a los niveles y tipos de intervención en los páramos, considerando el cultivo de la cebolla entre las actividades que mayor afectación generan (Sarmiento y Ungar, 2014).

A pesar del establecimiento del DMI, en el páramo de Berlín las inadecuadas prácticas pecuaria y agrícola (así como expansión de las mismas) están afectando el ecosistema, atentando en su integridad física (cambios del paisaje) y ambiental (pérdida de la biodiversidad) (Suarez et al., 2008). Entre las actividades agrícolas desarrolladas en este páramo, se encuentran 5,509 Ha en cultivos, constituyéndose el de la *Cebolla Junca* (cultivadas en 610 Ha), como uno de los cultivos importantes para la economía de la región y medio de sustento para más de 670 familias (Suarez et

---

al., 2008). La práctica agrícola de la *Cebolla Junca* se caracterizan por el empleo de agroquímicos de síntesis y de estiércol de pollo (pollinaza) inestable (Ver Anexo A), uso irracional del agua en los sistemas de riego e inadecuada disposición de los residuos de postcosecha.

Teniendo en cuenta que es necesaria la conservación, protección y manejo sostenible de este páramo como parte del patrimonio ecológico natural y dada la importancia de regular los impactos asociados a las actividades productivas en el área de recuperación agropecuaria estipulada en el DMI de páramo de Berlín, en este proyecto se condensan los resultados de la evaluación del compostaje de materiales de enmienda y de los residuos provenientes de cultivo de la cebolla junca en este ecosistema. Este proyecto buscó contribuir a mejorar las prácticas agrícolas, a través de la generación de productos orgánicos estables que puedan ser empleados en el cultivo de la cebolla junca, y al mismo tiempo dar un manejo adecuado a los residuos generados en el proceso de postcosecha de la cebolla junca y de otros residuos orgánicos generados en la localidad. De esta manera, el proyecto también contribuye a la regulación, planificación y control del desarrollo de las actividades productivas agropecuarias, que permitan condiciones de sobrevivencia socioeconómica de los pobladores, pero generando otras alternativas que sustituyan el uso intensivo del suelo en producción de *Cebolla Junca* con miras a conservar las aguas, la flora y los ecosistemas paramunos.

Este documento contiene en el capítulo 2, los objetivo general y específicos propuestos en el proyecto de investigación; el desarrollo del marco conceptual y del estado del arte son presentados en los capítulo 3 y 4 respectivamente; las actividades, métodos y técnicas empleadas para el alcance de los objetivos del proyecto se abordan en el capítulo 5; el capítulo 6 condensa los resultados y el análisis de la información obtenida en el marco del proyecto; finalmente el capítulo 7 incluye las conclusiones y recomendaciones del proyecto, y el capítulo 8 las referencias bibliográficas empleadas en el estudio.

---

## 2 Objetivos

### 2.1 General

Evaluar el proceso y la calidad del producto del compostaje de materiales de enmienda y de los residuos proveniente del cultivo de la *Cebolla Junca* en el Páramo de Berlín, Santander

### 2.2 Específicos

- Identificar las características fisicoquímicas de los materiales de enmienda (estiércol de gallina) y de los residuos proveniente del cultivo de la *Cebolla Junca*.
- Evaluar el proceso de compostaje de los sustratos (estiércol de gallina y *Cebolla Junca*) considerando condiciones de Páramo.
- Analizar las características fisicoquímicas y microbiológicas del producto obtenido en el proceso de compostaje de los sustratos estudiados.

---

### 3 Marco conceptual

#### 3.1 Proceso de compostaje

El compostaje es una forma de obtener un producto estable por medio de transformación biológica aerobia, parecida a la que ocurre naturalmente en el suelo (de Bertoldi, Vallini, & Pera, 1983). Según Haug (1993), el compostaje es la descomposición y estabilización biológica de sustratos orgánicos, bajo condiciones que permiten el desarrollo de temperaturas termofílicas, obteniendo finalmente un producto estable, libre de patógenos y apto para plantar semillas, este proceso también tiene la capacidad de destruir plagas, maleza, insectos y huevos de insectos.

El proceso y las características del producto son determinados por los factores ambientales a los cuales el proceso es expuesto, los parámetros operacionales seguidos y la tecnología empleada. Una desviación brusca durante cualquiera de las fases pronosticará un mal funcionamiento. Las fases del proceso de compostaje se describen en los siguientes ítems acorde con Kreith & Tchobanoglous (2002).

##### 3.1.1 Fase de latencia (mesofílica):

Es el periodo de adaptación de los microorganismos presentes en los residuos. Los microorganismos empiezan a reproducirse usando azúcares, almidones, celulosas simples y aminoácidos presentes en los residuos, debido a la actividad acelerada la temperatura empieza a aumentar en la masa. Se ha demostrado que el número de organismos mesofílicos en el sustrato original es tres veces más elevado el número de organismos termofílicos, pero la actividad de los primeros descomponedores conlleva al incremento de temperatura (Diaz, De Bertoldi, Bidlingmaier, & Stentiford, 2007).

##### 3.1.2 Fase activa (termofílica):

La transición de la fase de latencia a la fase activa es marcada por un crecimiento exponencial en la población y actividad microbiana. Esta actividad es manifestada por el rápido y constante incremento en la temperatura de la masa de compostaje. El aumento continúa hasta que la materia fácil de descomponer sigue siendo suficientemente grande para soportar la expansión microbiana y su intensa actividad. La temperatura máxima en esta fase puede superar los 70°C y debe ser controlada, para evitar afectación de la comunidad microbiológica que interviene en el proceso. Sin embargo, estos niveles de temperatura son propicios para higienizar el material de microorganismos patógenos.

##### 3.1.3 Fase de estabilización:

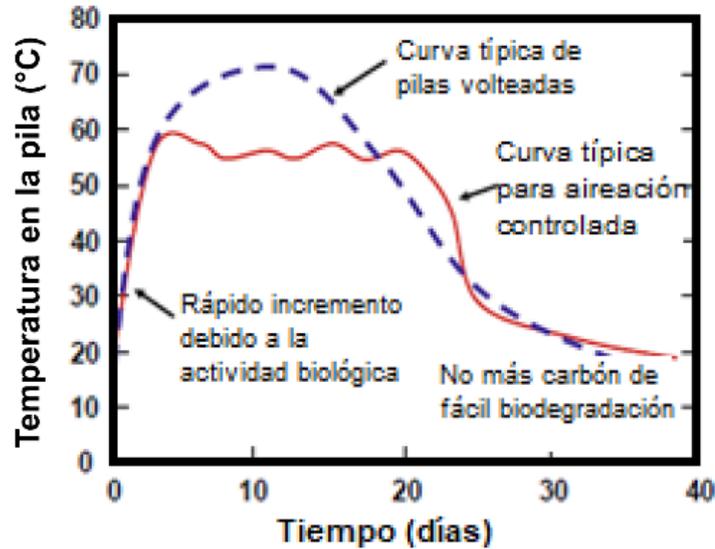
También es llamada por Diaz et al. (2007), segunda fase mesofílica, se caracteriza por el incremento de microorganismos que degradan almidones y celulosas, entre ellos están las bacterias y fungi. La actividad se mantiene en su nivel máximo hasta que la materia fácil de descomponer empieza a disminuir. En la curva de temperatura, este periodo de actividad máxima es representado por una llanura de la curva, llamado fase de estabilización. Este periodo puede ser tan corto como para durar pocos días o si la concentración de la materia es alta puede un par de semanas.

##### 3.1.4 Fase de maduración:

Finalmente, la materia fácil de descomponer se agota y la etapa de maduración empieza. En esta fase, la proporción de materia orgánica resistente es degradada por otro tipo de microorganismos (actinomicetos y hongos) y la proliferación microbiana empieza a disminuir. La temperatura presenta una caída inevitable hasta llegar a temperatura ambiente.

En la Figura 1 se aprecia el comportamiento típico de la temperatura en el proceso de compostaje según Hubbe, Nazhad, & Sánchez (2010).

**Figura 1. Curva típica de temperatura.**



**Fuente:** (Hubbe et al., 2010)

### 3.2 Parámetros del proceso

Los microorganismos son esenciales en la descomposición de la materia orgánica, y su actividad está directamente relacionada con la evolución de proceso de compostaje. La evolución y la velocidad del proceso están relacionada con factores que influyen en las condiciones de vida microbiana (microbiológica). El proceso de compostaje debe ser mantenido bajo óptimas condiciones de operación y condiciones ambientales (Chiumenti et al., 2005).

#### 3.2.1 Porosidad del sustrato:

La porosidad total es definida como la relación entre el volumen de vacíos entre partículas sólidas y el volumen total ocupado por las partículas y los vacíos. En la masa de compostaje, los espacios vacíos están parcialmente llenos con agua y gas. En la literatura, es llamado como *free air space* (FAS), e indica el porcentaje del volumen total que es ocupado por el gas. El porcentaje de FAS es importante porque debe existir suficiente espacio disponible para contener el oxígeno requerido para el metabolismo microbiológico.

$$Free\ Air\ Space = \frac{(V_e - V_w)}{V_t}$$

$V_e$  = volumen de espacios vacíos

$V_w$  = volumen ocupado por agua

$V_t$  = volumen total

El proceso de compostaje supone tres variables: aire, agua y materia orgánica. Bajo condiciones óptimas de compostaje, el valor de FAS debería ser entre 35 y 50%. Además, para mantener un adecuado valor de FAS, el tamaño óptimo de la partícula de materia prima debe ser aproximadamente de 25 a 75 mm (Chiumenti et al., 2005).

---

### 3.2.2 Contenido de humedad

El agua es un elemento esencial para toda actividad microbiológica desarrollada en el proceso de compostaje, es indispensable para el intercambio de nutrientes y es un medio donde todas las reacciones tienen lugar. Los valores óptimos para el contenido de humedad de la materia prima pueden variar entre el 40 y 60% (Chiumenti et al., 2005). Toda actividad biológica cesa cuando se presentan contenidos de humedad menores que 12%, entre más cercano este la humedad a ese nivel, menor va a ser la intensidad de la actividad biológica (Kreith & Tchobanoglous, 2002). La cantidad excesiva de agua tiende a taponar los espacios vacíos impidiendo el intercambio gaseoso. La humedad excesiva en el material inicial puede favorecer un medio anaeróbico, resultando un proceso lento y baja calidad en el producto (Diaz et al., 2007). Es posible compostar materiales orgánicos con un contenido de humedad mayor que 60% (e.g., lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales, pasto y estiércol de animales) si esos materiales son mezclados con materiales más secos que lleven a la mezcla a tener una humedad menor que 60%. El contenido de humedad y porosidad de la masa de compostaje deben ser adecuados ya que son requeridos para que el proceso biológico sea eficiente y controlado (Chiumenti et al., 2005).

### 3.2.3 Concentración de oxígeno

Bajo condiciones aerobias, la degradación biológica de sustratos ricos en carbono orgánico puede ser caracterizada por el consumo de oxígeno y la producción de dióxido de carbono, agua y calor. La concentración de oxígeno varía desde 15 a 20 por ciento y el dióxido de carbono desde 0.5 a 5% (MacGregor, Miller, Psarianos, & Finstein, 1981). Cuando el nivel de oxígeno está debajo de ese rango las condiciones anaerobias empiezan a sobrepasar las aerobias (Diaz et al., 2007).

Intentos para establecer un índice aplicable universalmente para la absorción de oxígeno como un parámetro de diseño han sido fallidos, esto se debe a la variabilidad de factores claves que influyen la demanda de oxígeno. Entre esos factores están la temperatura, el contenido de humedad, el tamaño de la población de bacterias y la disponibilidad de nutrientes (Kreith & Tchobanoglous, 2002). La oxigenación de la biomasa es lograda introduciendo aire en las pilas de compostaje puede ser mediante sopladores o realizando volteos manual o mecánicamente. El mantenimiento de la adecuada concentración de oxígeno en el material usado es conseguido variando el flujo de aire y/o variando la frecuencia de volteos (Chiumenti et al., 2005).

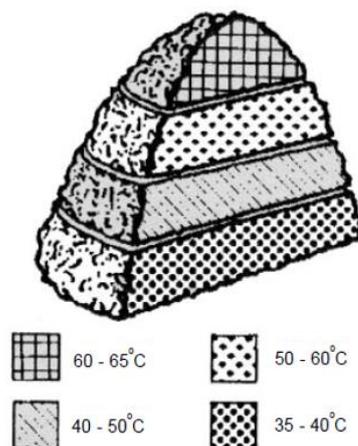
### 3.2.4 Temperatura

La temperatura de la biomasa es el parámetro del proceso de compostaje que más se utiliza para el monitoreo del proceso, debido a que describe la evolución y estado de la degradación de la materia orgánica. Esencialmente, la temperatura indica la actividad microbiológica en la masa de compostaje. Logrando determinados rangos de temperatura también se asegura una adecuada destrucción de organismos patógenos (Chiumenti et al., 2005).

Solo el 40-50% de la energía producida en el proceso de degradación de la materia orgánica es utilizado por los microorganismos para sintetizar ATP, el resto de esa energía es perdida a través de calor en la masa. Esta cantidad de calor causa un incremento en la temperatura y puede llegar a temperaturas del orden de 70-90 °C (Kreith & Tchobanoglous, 2002). Se sugiere que la temperatura en la etapa termofílica no alcance valores mayores a 70 °C ya que puede ser letal para algunas comunidades de bacterias. Con el fin de prevenir temperaturas que se excedan del rango óptimo, 55 a 60 °C se deben realizar volteos a las pilas o airear de forma mecánica. También es posible

determinar el valor de concentración de oxígeno monitoreando la temperatura de la biomasa. En algunos casos, el decremento en la temperatura de la pila puede ser un indicador de escasez de oxígeno (Chiumenti et al., 2005). En la Figura 2 se observa la variación de temperaturas en una pila de compostaje (Dulac, 2001).

**Figura 2. Distribución de temperatura dentro de las pilas**



Fuente: (Dulac, 2001)

### 3.2.5 Relación Carbono – Nitrógeno C/N

Los dos nutrientes más importantes para el crecimiento y la actividad microbológica que afectan el proceso de compostaje son el nitrógeno y el carbono (Epstein, 2011). La insuficiencia de cualquiera de esos nutrientes es un factor limitante para la actividad microbológica. Los microorganismos heterotróficos usan el carbono como fuente de energía y necesitan el nitrógeno para sintetizar proteínas (Chiumenti et al., 2005). Un valor óptimo de C/N en el material al iniciar el proceso debe ser entre 25-30.

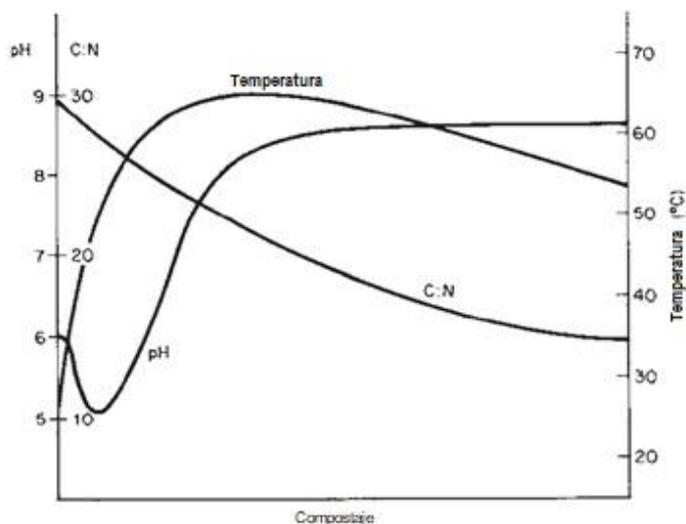
Si la relación C/N es muy alta, la actividad biológica disminuye lo cual hace el proceso más lento (Diaz et al., 2007) y si está relación es muy baja habrá liberación de amoníaco (Epstein, 2011). Por lo tanto, la relación C/N es un indicador del grado de descomposición de la materia orgánica, debido a que el carbono es expulsado en forma de dióxido de carbono (Lazcano, Gómez-Brandón, & Domínguez, 2008). La relación C/N decrece durante el proceso de compostaje, esto ocurre debido a que la tasa de mineralización de nitrógeno orgánico es más baja que la de carbono orgánico (Yang, Li, Shi, & Wang, 2015). Los materiales de soporte pueden ser usados para ajustar las relaciones de C/N (Zhang & Sun, 2016). Bajo condiciones óptimas, se obtienen valores C/N de 15 a 20 (Chiumenti et al., 2005).

### 3.2.6 pH

Generalmente, la materia orgánica con un amplio rango de pH (desde 3 a 11) puede ser compostada. Sin embargo, los valores recomendados están entre 5.5 y 8. Mientras que las bacterias prefieren un pH próximo al neutral, los hongos se desarrolla mejor en ambientes ácidos (de Bertoldi et al., 1983). Generalmente el pH sigue un patrón de comportamiento en el proceso de compostaje, los niveles son bajos en las primeras etapas y elevados en las últimas etapas (Turan, 2008). Esto debido a que en las primeras etapas, cuándo se presentan altas tasas de degradación, se generan ácidos grasos volátiles que luego son transformados por vía aerobia, en dióxido de carbono. Este proceso conduce a la

disminución de pH. Consecuentemente, con la liberación del CO<sub>2</sub> en las pilas y la transformación de otros compuestos orgánicos, el pH se incrementa a valores alcalinos. En la Figura 3, se aprecian las curvas típicas que describen el comportamiento de los parámetros más relevantes en el proceso de compostaje.

**Figura 3. Curvas típicas de pH, temperatura y relación C/N durante el proceso de compostaje**



**Fuente:** (Lester & Birkett, 1999)

### 3.2.7 Conductividad eléctrica (CE)

La CE es un indicador de la concentración de sales que están presentes principalmente en forma de iones de magnesio y calcio, y que son liberados en la masa debido a la mineralización microbiana de las fracciones de materia orgánica presente en los sustratos. Su presencia es fundamental para la calidad del producto, pues podría inhibir el crecimiento de plantas o tener efectos adversos en los suelos (Shah, Kansara, & Shilpkar, 2015). Generalmente tiende a aumentar durante el proceso de compostaje debido a la mineralización de la materia orgánica, hecho que produce aumento de la concentración de nutrientes. Ocurre a veces un descenso debido a fenómenos de lixiviación en la masa, provocados por una humectación excesiva de la misma (Moreno Casco & Moral Herrero, 2008).

### 3.3 Calidad del producto

Una de las condiciones críticas para determinar la calidad de los productos y potenciar su uso y comercialización, está relacionada con la presencia de contaminantes; un compost de calidad no se logra si los sustratos contienen impurezas o componentes indeseables, como metales pesados o compuestos orgánicos persistentes (E. R. Oviedo-Ocaña et al., 2016).

Para evaluar la calidad del compost obtenido, en Colombia se utiliza la norma técnica NTC 5167 (ICONTEC, 2004), que contiene los rangos de los parámetros necesarios para garantizar una calidad del producto acorde con su uso posterior. Para uso del producto con fines agrícolas, se presentan los parámetros expuestos en la Tabla 1.

**Tabla 1. Calidad del compost según NTC 5167**

Parámetro	Valor permisible
Contenido de cenizas	Máx 60%
Contenido de humedad	Máx 35%
Carbono orgánico oxidable	Mín 15%
N, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> y K <sub>2</sub> O	>1% c/u
Capacidad de intercambio catiónico	Mín 30 meq/100g
pH	Entre 4-9
Densidad	Máx 0,6 g/cm <sup>3</sup>

**Fuente:** (ICONTEC, 2004)

Un compost de calidad tiene la capacidad de ser aplicado al suelo, sin deteriorar sus propiedades físicas y suministrar materia orgánica y nutrientes (Soto & Meléndez, 2004). Mantiene valores de pH adecuados para la agricultura, evita cambios extremos en la temperatura y fomenta la actividad microbiana (López, 2013). Para verificar las propiedades que presenta el producto final del compostaje se tiene en cuenta parámetros como: relación C/N, color, olor, humedad y temperatura. Para determinar estas propiedades se realizan ensayos de laboratorio (e.g. relación C/N para mirar la estabilidad e índice de germinación para mirar la madurez) y en sitio (e.g. color olor humedad y temperatura para mirar la estabilidad y pH para mirar la madurez). La madurez y estabilidad son criterios importantes para garantizar la calidad de un compost que se usará en la agricultura (Oviedo et al., 2015). Acorde con diferentes autores (Tittarelli et al., 2007; Epstein, 2011), el producto puede contribuir con la fertilidad física, química y biológica, tal como se describe a continuación:

- Fertilidad física: contribuye con el mantenimiento de la estructura del suelo y restituye materia orgánica que puede haber sido reducida por la práctica intensiva de la agricultura. Entre las propiedades del suelo que se mejoran están la estructura (agregación), CIC, capacidad de retención de agua y permeabilidad debido a una mejora en la macro-porosidad. Otros efectos positivos son la reducción de la erosión del suelo en áreas con pendientes, incremento de la capacidad de retención de agua y reducción de compactación de suelos.
- Fertilidad química: La cantidad y calidad de materia orgánica adicionada al suelo influencia la tasa en que ésta es mineralizada. La lenta liberación de nutrientes desde el compost incrementa el rendimiento de los cultivos en los años posteriores a su aplicación. El N del compost es un 85 a 90% orgánico y el resto inorgánico y disponible inmediatamente para las plantas. El P es un nutriente esencial para las plantas y su baja concentración y solubilidad en el suelo hacen de éste un nutriente crítico que limita el crecimiento de la planta. La concentración de nutrientes como el N y P algunas veces puede no ser suficiente para proveer completa soporte nutricional para los cultivos y, debido a su lenta tasa de mineralización del compost y la necesidad de disponibilidad de N fertilizante a las plantas, se ha sugerido la adición de fuentes de N y P al compost.
- Fertilidad biológica: El compost mejora la capacidad de la planta para absorber el N, por la promoción del nivel de mineralización del suelo, así como el incremento en la capacidad de absorción de componentes naturales del suelo. Esto se debe principalmente a la presencia de diversas especies de bacterias en el compost, que es favorecida por las características

---

fisicoquímicas del producto, haciéndolo un sustrato ideal para el crecimiento de diferentes grupos microbiales. Para la fertilidad biológica del suelo es importante que la comunidad microbial en el compost pertenezca a grupos fisiológicos de celulolíticos, pectinolíticos, proteínolíticos, nitrificantes y aquellos que contribuyan en su conjunto, al ciclo de nutrientes en el suelo.

---

## 4 Estado del arte

### 4.1 Compostaje de pollinaza

La pollinaza es una mezcla de excreta, plumas y material utilizado como cama (Turan, 2008). El compostaje de la pollinaza es un método alternativo favorable para el manejo de los residuos debido a la inmovilización de nutrientes y reducción del volumen de residuos. El producto obtenido es más seguro que la pollinaza sin compostar, debido a la reducción de patógenos y su facilidad de manejo, almacenamiento, transporte y aplicación (Preusch, Adler, Sikora, & Tworkoski, 2002). Los residuos de animales crudos frecuentemente contienen microorganismos patógenos, incluyendo bacterias de *Salmonella* y *Escherichia coli*, y varios químicos orgánicos e inorgánicos como hormonas, antibióticos, pesticidas y algunas veces metales pesados (Li, Zhong, Wang, & Zhao, 2011).

Frecuentemente, los agricultores usan la excreta de aves como fertilizante orgánico en la agricultura sin un tratamiento preliminar. Por consiguiente, una gran emisión de gases nocivos es liberada en la atmósfera (gases causantes del efecto invernadero), la pérdida de nitrógeno es significativa y la contaminación de los suelos con patógenos es posible. Los costos del proceso pueden ser compensados por los beneficios que se obtienen del compost, por ejemplo, el compost mejora la fertilidad del suelo y aumenta los rendimientos de los cultivos (Petric, Sestan, & Sestan, 2009). La pollinaza tiene un contenido alto de nitrógeno y es moderadamente húmedo, necesita un material de enmienda rico en carbono (Rynk et al., 1992).

### 4.2 Compostaje de pollinaza y otros sustratos

Según la literatura, la pollinaza ha sido compostada previamente con diferentes materiales de soporte o enmienda que le ayudan a mejorar sus propiedades para obtener un producto de calidad dependiendo del uso posterior. La pollinaza es una fuente significativa de nitrógeno, pero pequeñas cantidades de carbono necesitan ser agregadas para agilizar la degradación de materia orgánica en el proceso de compostaje (Petric et al., 2009) y alcanzar valores recomendados de la relación C/N al inicio del proceso. La pollinaza ha sido compostada con diferentes materiales de enmienda dependiendo de la propiedad que se quiere mejorar, tal como se presenta en las siguientes secciones.

#### 4.2.1 Zeolita natural

Una gran limitación en el compostaje de pollinaza es la excesiva salinidad, altos valores indican una gran cantidad de minerales solubles que posiblemente inhiben la actividad biológica o causan problemas en la aplicación al suelo si se usan grandes cantidades de compost. Se encontró que el nivel de salinidad en el compost obtenido decrece si se agrega mayor cantidad de zeolita natural. Usando 5% y 10% de zeolita natural, 66.04% y 88.92% de salinidad del producto final fueron absorbidos, respectivamente (Turan, 2008).

#### 4.2.2 Paja de trigo

Se realizó un estudio en el cual se determinó la influencia de la paja de trigo agregada a la pollinaza en el rendimiento del proceso de compostaje. La función de la paja de trigo como material de soporte fue aumentar la relación C/N y aportar carbono orgánico degradable. Se utilizaron tres mezclas: (1) 73.5% pollinaza y 26.5% paja de trigo, (2) 83% pollinaza y 17% paja de trigo, y (3) 88% pollinaza y 12% paja de trigo. Los resultados experimentales muestran que los valores más altos de degradación de la materia orgánica, temperatura y emisión de CO<sub>2</sub> fueron obtenidas por la mezcla

---

(2) compuesta por 83% de pollinaza y 17% de paja de trigo que de las tres mezclas usadas en la investigación aportó las mejores condiciones para el proceso de compostaje (Petric et al., 2009).

#### 4.2.3 Biocarbón

- ✓ Dias et al. (2010) prepararon tres combinaciones, mezclando la pollinaza con diferentes residuos orgánicos (biocarbón, cáscara de café y aserrín) usados como materiales de soporte, en una proporción 1:1:1 cada material. El uso de biocarbón como material de soporte para el compostaje de pollinaza permitió optimizar el proceso, reduciendo emisiones de olor y pérdida de nitrógeno, así como la producción de compost estable con una composición balanceada de nutrientes (Dias et al., 2010).
- ✓ Liu et al. (2017) demostraron que la adición de biocarbón extraído del bambú puede incrementar la porosidad, mejorando la permeabilidad al aire y asegurando un ambiente aerobio en la pila, reduciendo la producción de metano. Sin embargo, el exceso en la adición de biocarbón sobre 10% causa mayor pérdida de agua y disipación de calor, afectando negativamente el proceso de compostaje (N. Liu et al., 2017).

#### 4.2.4 Paja de arroz

La combinación de paja de arroz con pollinaza en la relación de 6.5:1 permitió complementar las deficiencias o excesos de carbono y nitrógeno de los dos sustratos, lo cual contribuyó a la producción de un compost de mejor calidad que el efectuado únicamente con pollinaza. La aplicación del compost preparado mejoró las diversas propiedades químicas y biológicas del suelo mostrando las características y la capacidad del compost para mejorar la calidad del suelo respecto a la productividad (Gaind & Nain, 2010).

#### 4.2.5 Tusas, aserrín y virutas de madera

En este estudio se realizaron dos tratamientos, el tratamiento 1 (T1) conformado por 53% pollinaza, 9% tusas de maíz, 24% aserrín y 14% virutas de madera (i.e. todos los materiales en proporción peso húmedo – w/w), y el tratamiento 2 (T2) contenía 71% pollinaza, 8% tusas de maíz y 21% aserrín. La adición de estos materiales a la pollinaza mejoró su porosidad, redujo el pH inicial y balanceó la relación C/N. La fase termofílica demoró 35 y 37 días para T1 y T2, respectivamente, favoreciendo la eliminación de patógenos. El producto de T1 mostró menos efectos fitotóxicos que T2, probablemente relacionados con el mayor contenido de sales en T2, debido al mayor porcentaje de pollinaza que contenía éste. Se encontró que 71% de pollinaza contenido en la mezcla no tiene efectos adversos en el proceso de compostaje. Sin embargo, el producto final tuvo más limitaciones para el uso en la agricultura que la mezcla que contenía menos pollinaza (Rizzo et al., 2013).

#### 4.2.6 Fracción orgánica de residuos sólidos municipales (FOROS)

Este estudio realizó una combinación de FOROS, pollinaza, aserrín y compost maduro. FOROS estaban compuestos por: residuos de comida (56.5%), papel y cartón (30.4%) y residuos de jardinería (13.1%). La función de la pollinaza fue ajustar la relación carbono – nitrógeno. El aserrín fue usado como material de soporte, en función de aumentar la aireación de las mezclas y optimizar las propiedades del sustrato (humedad, porosidad, relación C/N, pH). El compost maduro fue adicionado como agente inoculador con el fin de acelerar el inicio del proceso de compostaje.

Los materiales fueron mezclados manualmente con el objetivo de lograr una mejor homogenización de la mezcla. Se prepararon tres mezclas con diferentes porcentajes de materiales:

reactor 1 (60% FOROS, 20% Pollinaza, 10% compost maduro, 10% aserrín), reactor 2 (50% FOROS, 33.33% Pollinaza, 8.33% compost maduro, 8.33% aserrín) y el reactor 3 (42.86% FOROS, 42.86% Pollinaza, 7.14% compost maduro, 7.14% aserrín). Al final se obtuvo un mejor resultado del reactor 1, que a pesar de no presentar las temperaturas máximas, demostró tener las condiciones más apropiadas para el proceso de compostaje (Petric, Helić, & Avdić, 2012). En la Tabla 2, se aprecian las características fisicoquímicas de los materiales que han sido compostados previamente con la pollinaza.

**Tabla 2. Características de materiales compostados con pollinaza.**

Autores	Sustratos	pH (Unidades)	Humedad (%)	COT (%C) bs	NT (%N) bs	C/N	CE (mS/cm)
(Petric et al., 2009)	Paja de trigo	7.18 ± 0.05	10.87 ± 0.95	48.84	0.55	88.80	1.91 ± 0.03
(Dias et al., 2010)	Biocarbón	7.64	7.1	49.78	0.61	82.06	0.4
(Dias et al., 2010)	Cáscara de café	4.81	12.1	51.26	1.2	43.5	5.99
(Dias et al., 2010)	Aserrín	3.48	15.1	45.42	0.95	49.62	0.43
(Gaind & Nain, 2010)	Paja de arroz	7.24	-	39.2	0.5	78.4	3.68
(Petric et al., 2012)	FOROS	4.98 ± 0.05	59.83 ± 0.50	50.94 ± 0.37	0.66 ± 0.03	77.18	1.19 ± 0.07
(Petric et al., 2012)	Aserrín	5.31 ± 0.06	10.03 ± 0.40	55.50 ± 0.17	0.28 ± 0.04	198.2	0.24 ± 0.04

Nota: COT. Carbono Orgánico Total, NT. Nitrógeno Total, CE. Conductividad eléctrica, bs. Base seca.

Se puede concluir que la pollinaza es un material rico en nitrógeno y fósforo que puede ser compostado efectivamente con materiales que tengan alto contenido en carbono, además dado su alto contenido de sales, es recomendable mezclarla en bajas proporciones para garantizar su uso en la agricultura sin afectar la calidad del suelo usado.

### 4.3 Compostaje de residuos de cebolla *junca*

La cebolla Junca o de rama (*Allium Fistulosum*) prospera en una amplia gama de climas, con temperatura promedios entre 12 y 20°C. Existen tres tipos de cebolla y se clasifican según su color. Las raíces verdaderas que surgen del embrión viven poco tiempo, siendo reemplazadas por raíces adventicias. Sus raíces carecen de absorción (Reina, Cuenca Perdomo, & Ortega Ospina, 1996). En la literatura investigada fueron escasos los estudios de compostaje con esta materia orgánica, por lo tanto, en la Tabla 3 se encuentra el estudio realizado por Martínez-Nieto et al. (2011) en Aquitania, Boyacá.

**Tabla 3. Características de materiales compostados con cebolla *junca*.**

Autores	Sustratos	Humedad(%)	COT (%C) bs	NT (%N) bs	C/N
Martínez-Nieto et al. (2011)	Residuos de cebolla junca	67,57	28	1,68	16,7
	Gallinaza	72,59	46,1	6,08	7,6
	Elodea Brasileira	63,13	43,7	2,94	14,9
	Cáscara de arroz	21,13	58,1	0,42	138,3
	Harina de cebada	9,2	66,7	1,17	57,0

Nota: COT. Carbono Orgánico Total, NT. Nitrógeno Total, bs. Base seca.

---

Acorde con Martínez-Nieto et al. (2011), en algunas regiones de Colombia se emplean algunos residuos pecuarios (e.g. gallinaza, pollinaza), como material fertilizante, sin la adecuada estabilización, generando problemas de orden ambiental y sanitario. Estos mismos autores señalan que en aras de contribuir a la solución de este problema, se realizó el compostaje conjunto de residuos de cebolla junca, gallinaza, elodea, cáscara de arroz y harina de cebada. Se encontró que el compostaje con inóculos microbianos es una alternativa viable y segura para el manejo de residuos del cultivo de cebolla en sub-páramo. En el estudio encontraron que el producto proveniente de la mezcla de todos los residuos inoculados con MCPA (ácido 2-metil-4-clorofenoxiacético) y los materiales antes mencionados, fue el que presentó las mejores características nutricionales y biológicas al cumplir con todos los parámetros de calidad a diferencia de los otros tratamientos, lo que permite su utilización en el cultivo de cebolla (Martínez-Nieto et al., 2011).

El Anexo B presenta los resultados de cuatro estudios que han abordado el compostaje de residuos agrícolas como los manejados en este estudio y los resultados allí plasmados reflejan que el uso de residuos de cocina proporciona mejores resultados cuando es mezclado con cartón o residuos de jardín, obteniendo mejores resultados en cuanto a la calidad y madurez del compost (Rawoteea, Mudhoo, & Kumar, 2017). Los residuos de cocina deben ser compostados con al menos 40% volumen de materiales de soporte para tener mejores resultados. Los desechos de jardinería, incluyendo la hierba cortada, las hojas muertas y las malas hierbas (sin semilla), son buenos agentes de carga (Neugebauer & Sołowiej, 2017).

---

## 5 Materiales y Métodos

### 5.1 Reconocimiento del área

El montaje de las pilas se desarrolló en una planta de reciclaje (7.187189 N, -72.868828 E) construida por la gobernación para el municipio y tenía como función principal el manejo de los residuos sólidos domiciliarios de las cabeceras urbanas de Tona, Vetas y el corregimiento de Berlín (CDMB, 2004). Actualmente la planta no se encuentra en funcionamiento. El lugar cuenta con servicio de agua y energía, tiene piso en cemento y techo. La alcaldía del municipio de Tona autorizó el uso del área para desarrollar el experimento (Ver Figura 4).

**Figura 4. Área experimental**



### 5.2 Selección de materiales

Se realizó una revisión bibliográfica con el propósito de encontrar cómo y con qué materiales han sido compostadas la pollinaza y la cebolla junca previamente. Adicionalmente, se realizaron dos visitas técnicas con el fin de determinar qué materiales se encontraban en la zona cumpliendo con los requisitos de disponibilidad y fácil acceso:

- i) La primera visita se realizó a una finca en la que se realiza el cultivo de cebolla junca de manera tradicional. En este predio se tomaron muestras representativas de pollinaza y residuos de cebolla junca con diferentes periodos de degradación (i.e. 8 días, 1 mes, 4 meses). Se siguieron procedimientos para la recolección y toma de muestra (Sakurai, 2001). Las muestras se llevaron al Laboratorio Químico de Consultas Industriales de Universidad Industrial de Santander donde se le realizaron los siguientes análisis fisicoquímicos: pH, humedad, carbono orgánico oxidable total, nitrógeno total Kjeldahl, cenizas, potasio total, fósforo total, conductividad, sodio y calcio los cuales fueron procesados siguiendo protocolos de la norma técnica colombiana (Ver resultados en Anexo C). Adicionalmente se le realizó una prueba de estabilidad a la pollinaza con propósito de conocer su grado de estabilidad (Ver Anexo A). Según el estudio realizado por Arias (2017), en el marco de este proyecto de investigación, se encontró que los materiales que posiblemente serían aptos para el proceso por sus características fisicoquímicas (i.e. a nivel teórico) y disponibilidad, eran estiércol bovino, estiércol ovino, residuos de alimentos crudos y residuos de papa.
- ii) En la segunda visita, se tomaron muestras representativas de estos sustratos (i.e. estiércol bovino, estiércol ovino, residuos de alimentos crudos y residuos de papa) en diversos predios, las cuales fueron llevadas al laboratorio, en donde fueron analizados el pH, la

---

humedad, el carbono y el nitrógeno (Anexo D). Los resultados de los análisis demostraron que de los materiales escogidos solo los residuos de papa cumplían con el requisito de alto contenido en carbono, pero no tenían la disposición en la cantidad requerida. Por consiguiente, se tomó la determinación de mezclarlos con residuos de alimentos crudos. Además, se decidió incluir en el análisis un material de soporte con características fisicoquímicas ricas en carbono. Según la literatura, el aserrín ha sido compostado en varias ocasiones con la pollinaza y otros materiales obteniendo resultados muy favorables en la calidad del producto generado.

### 5.2.1 Conformación de tratamientos

Se definieron tres tratamientos para el proceso, cada uno con tres réplicas y con una masa de 101 kg. Estuvieron conformados como se muestra a continuación:

- Tratamiento A (TA): 43% pollinaza, 41% residuos de alimentos crudos y 16% aserrín,
- Tratamiento B (TB): 52% pollinaza, 32% residuos de cebolla (frescos) y 16% aserrín
- Tratamiento C (TC): 70% residuos de cebolla y 30 % aserrín.

Las proporciones de cada material para cada tratamiento fueron calculadas por medio de la ecuación de Trautmann & Krasny (Trautmann & Krasny, 1997), utilizando valores teóricos para cada sustrato obtenidos de la literatura (Ver los cálculos en el Anexo E).

### 5.3 Montaje experimental

Los materiales para el montaje experimental fueron recolectados de la siguiente manera: i) Los residuos de cebolla fueron recolectados de la finca de un agricultor del corregimiento del Berlín después de realizar la cosecha; ii) La pollinaza también fue proporcionada por un agricultor de la zona; iii) Los residuos de alimentos crudos fueron recolectados de varios restaurantes y viviendas de la zona, estaban compuestos por cáscaras de naranja, tomate, papa, limón, zanahoria, arveja, yuca, papa criolla, frijol, plátano, pimentón, guayaba, ahuyama, mango y piña. La recolección se realizó durante tres días hasta alcanzar la cantidad necesaria; iv) El aserrín se obtuvo de un almacén llamado Maderas Dusan en la ciudad de Bucaramanga, por tal motivo se tuvo que transportar hasta el páramo de Berlín.

El montaje se realizó el 02 de junio del 2017, a las 8:00 am, se recibieron los materiales y se hizo el respectivo pesaje. Se realizaron nueve pilas de 0.8 m de altura en forma cónica (Figura 5) con los porcentajes de material calculados previamente. Para su ubicación en el área experimental, se realizó un sorteo al azar, la disposición de las pilas se encuentra disponible en el Anexo F.

**Figura 5. Pilas cónicas tratamiento A, B y C**



#### 5.4 Monitoreo del proceso

Se realizó monitoreo del proceso durante 69 días. El monitoreo de temperatura se hizo diariamente con termómetros bimetálicos para compostaje de 60.96 cm y 79.2 cm en cinco puntos de la pila. Para el monitoreo de la humedad, pH y CE se llevaron muestras representativas de material extraído de cada punto de la pila, al Laboratorio de Hidráulica de la Universidad Industrial de Santander. Los análisis fueron realizados al menos una vez por semana, empleando un medidor de humedad Ohaus MB-25 y un pHmetro sensION™+ MM374 (Ver Figura 6). Adicionalmente, se efectuó la medición de saturación de oxígeno en las pilas de compostaje con una sonda CM 37.

**Figura 6. Equipos usados para realizar mediciones de humedad, pH y CE**



Los volteos de las pilas se realizaron manualmente, acorde con las actividades de humectación, el comportamiento de la temperatura o para homogenizar el material, todo esto con el fin de mantener las condiciones apropiadas para el proceso. En la Figura 7a se observa la humectación inicial que se realizó a las pilas y en la Figura 7b un volteo manual en la fase termofílica del proceso.

**Figura 7 (a, b). Humectación y volteos manuales**



#### 5.5 Pruebas de madurez y estabilidad

Se realizaron pruebas de estabilidad y madurez al material en proceso con el fin de conocer su estado. La estabilidad biológica se puede definir como el estado en el cual la materia orgánica contenida en la biomasa ha tenido un alto grado de degradación, que se refleja en la baja actividad microbiológica. Por otro lado, la madurez se relaciona directamente con el grado de toxicidad del material aplicado al campo (Dios Pérez, 2008).

### 5.5.1 Prueba de germinación

La prueba de germinación permite determinar los niveles de fitotoxicidad del producto obtenido. Con este ensayo se logra detectar la presencia de sustancias que pueden tener efectos inhibitorios tanto en la germinación de las semillas, como en el crecimiento de ciertas plantas (Varnero, Rojas, & Orellana, 2007).

Para realizar la prueba se necesitaron en total 30 cajas Petri, siendo 3 por cada pila y 3 más utilizadas como testigo, en las cuales se empleaba únicamente agua destilada. El material de cada pila fue mezclado con agua destilada en la proporción 1:5. Esta mezcla resultante se dejó reposar durante 3 horas y posteriormente fue filtrada. En cada caja Petri se colocó papel filtro y sobre él 10 semillas de rábano, ya que es la especie que presenta mayor sensibilidad a sustancias fitotóxicas. A continuación, se aplicaron 10 mL del extracto obtenido en cada caja y se dejó durante 72 horas a temperatura aproximada de 25°C. Finalmente se realizó conteo de semillas germinas y medición de cada radícula para realizar los siguientes cálculos y obtener el índice de germinación.

#### Germinación relativa (GR)

$$GR = \frac{N^{\circ} \text{ de semillas germinadas en extracto}}{N^{\circ} \text{ de semillas germinadas en testigo}} \times 100$$

#### Largo de radícula relativo (ER)

$$ER = \frac{\text{Largo promedio de radículas en extracto (cm)}}{\text{Largo promedio de radículas en testigo (cm)}} \times 100$$

#### Índice de germinación (IG)

$$IG = \frac{GR \times ER}{100}$$

La norma chilena de compost NCh 2880, establece que un compost está maduro si muestra un porcentaje de germinación mayor o igual al 80% (INN, 2004).

En la Figura 8 se observan las pruebas de germinación que se realizaron el día 36, después de 72 horas.

**Figura 8. Prueba de germinación día 36**



---

### 5.5.2 Prueba de estabilidad (Autocalentamiento)

Para determinar el grado de madurez de un proceso de compostaje se realiza una prueba de estabilidad. El equipo que se empleó es un dispositivo de medición RM 82 que mide el grado de estabilidad del producto. Está diseñado con la normativa europea para la maduración del compost. La prueba consiste en tomar el producto generado, tamizarlo si es necesario, adicionar agua hasta alcanzar el 50-55 % de humedad, completar un vaso Dewar con la muestra, insertar la sonda de temperatura, conectarlo al RM 82 e inscribir los datos de la muestra en el software para dar inicio a la toma de datos temperatura que se presentan durante 10 días y que permiten determinar el grado de descomposición de la materia orgánica (Kontrolgrün, n.d.). Se realizó una prueba de estabilidad con este equipo a la muestra de pollinaza tomada en la primera visita realizada y a cada uno de los productos obtenidos de cada tratamiento propuesto.

**Figura 9. Dispositivo de medición del grado de madurez RM 82**



### 5.5.3 Prueba de olor y color

También se puede determinar la estabilidad y madurez del material en proceso utilizando test de olor y color. Según Oviedo-Ocaña et al. (2015), los materiales orgánicos con alto grado de madurez carecen del olor característico de ácidos orgánicos y deben tener un olor similar a la tierra mojada. La prueba de olor se realiza almacenando muestras de compost de cada pila por una semana, al finalizar el tiempo de espera, se abren las bolsas y se huelen registrando olores típicos predominantes (Peñarete, 2011). Con respecto al color, la muestra se debe revolver con la ayuda de una espátula, esto ayudara a identificar diferentes tonalidades de la mezcla, la categorización de tonos es: café claro, café oscuro y casi negro, con los cuales es posible indicar respectivamente compost inestable, relativamente estable y estable. Estos tonos fueron propuestos después de realizar una comparación con compost maduros que cumplieran con los estándares de estabilidad establecidos por la legislación colombiana. Es importante mencionar que las pruebas de olor y color no son de alta confiabilidad y requieren pruebas complementarias.

### 5.6 Levantamiento de las pilas

El día 69 del proceso se realizó el levantamiento de las pilas. Cada una de las pilas fue tamizada y el producto obtenido fue empacado en sacos al igual que el material retenido por el tamiz. Finalmente, se pesaron cada uno de los sacos con el fin de conocer el peso de cada uno de los productos al culminar la última etapa del proceso, lo cuales fueron almacenados con el propósito de realizar

---

pruebas posteriores que evaluarán la calidad del producto. En la Figura 10 se puede ver el tamizaje realizado y material retenido en el tamiz

**Figura 10. Tamizaje de los productos obtenidos**



### **5.7 Montaje demostrativo**

Con el propósito de dar a conocer el proceso de compostaje a algunos agricultores de la zona, se socializaron los resultados del montaje experimental. Se realizó inicialmente, una convocatoria a agricultores de cebolla junca del corregimiento de Berlín, a la que asistieron cuatro agricultores interesados (Ver Figura 11a). En esta reunión, además de la presentación de los resultados obtenidos en el experimento, se concertó la realización de una capacitación sobre el proceso de compostaje y un montaje demostrativo, en el que participarían los asistentes.

Posteriormente, el 17 de octubre del 2017 en la planta de reciclaje donde se realizó la capacitación sobre el proceso de compostaje y el montaje demostrativo. A esta segunda actividad, asistieron tres agricultores de la zona que mostraron interés en conocer el desarrollo del proceso. En la capacitación, se explicaron los fundamentos generales del proceso de compostaje, la importancia de las actividades de monitoreo del proceso y las condiciones para obtener un producto apto para el uso agrícola. Posteriormente, todos participaron en la conformación de dos pilas de compostaje de 250 Kg cada una, utilizando los mismos sustratos que se usaron el montaje previo (residuos de cebolla, pollinaza, aserrín y residuos de alimentos crudos). Los tratamientos fueron conformados así:

TAD: 15% aserrín, 15% Residuos de alimentos crudos, 33% pollinaza y 37% residuos de cebolla

TBD: 15% aserrín, 34% pollinaza y 51% residuos de cebolla.

El monitoreo de las pilas fue realizado por un agricultor de la zona, quien realizó toma de temperaturas diarias, humectación y volteos cuando fue necesario. Adicional a esto, en varias ocasiones los agricultores asistieron al monitoreo, realizando ellos mismos las tomas de temperaturas, volteos y humectaciones. En la Figura 11b se observa la participación de los agricultores en la charla y en el montaje de las pilas. Al momento de este informe se llevan 45 días del montaje.

**Figura 11 (a, b). Montaje demostrativo en el páramo de Berlín**



## 6 Resultados y Discusión

### 6.1 Análisis de los sustratos

Las propiedades fisicoquímicas de los sustratos usados y los tratamientos conformados (A, B y C) para realizar el montaje de las pilas se reportan en la Tabla 4.

**Tabla 4. Parámetros físico químicos al inicio del proceso**

Parámetros	Residuos de alimentos crudos	Aserrín	Cebolla fresca	Pollinaza	TA	TB	TC
pH (Unidades)	5.42	6.10	6.54	8.84	7.32	8.96	6.38
Humedad (%)	76.59	11.21	64.23	79.76	53.19	43.02	65.74
COT (%C) bs	20.29	23.64	3.24	92.00	23.50	19.81	25.98
NT (%N) bs	1.82	0.42	1.56	4.93	5.12	3.92	1.33
Fósforo Total (%P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )bs	0.13	1.33	0.20	1.05	0.53	0.96	1.34
CE (mS/Cm)	0.68	0.21	1.17	5.62	2.23	3.08	0.235
C/N	11.15	56.29	2.08	18.66	4.59	5.05	19.53

Nota: COT. Carbono Orgánico Total, NT. Nitrógeno Total, CE. Conductividad eléctrica, bs. Base seca.

Los residuos de alimentos presentan características no apropiadas para el proceso, acorde con la literatura (de Bertoldi et al., 1983; Rynk et al., 1992), que se reflejan en valores ácidos de pH, altas humedades, baja relación C/N y bajo contenido de nutrientes como el fósforo. De acuerdo con Rynk et al. (1992) sustratos con estas características requieren de un material de soporte que supla las deficiencias. Por otro lado, el aserrín es un material seco y rico en carbono, su degradación es moderada a deficiente (Rynk et al., 1992), fue usado en los tres tratamientos con el fin de suplir la carencia de carbono y reducir la pérdida de nitrógeno (Young et al., 2016). La cebolla fresca tiene deficiencia de carbono, es un material con una relación C/N demasiado baja, aunque su humedad es propicia para el proceso. La pollinaza presenta valores que no son adecuados, que se evidencian en su alto contenido de nitrógeno y fósforo, y de valores de pH. Así mismo, los valores de CE sugieren contenido de sales que podrían tener efectos fitotóxicos en el material, ratificando que es un material muy inestable. La humedad de la pollinaza se encuentra en valores superiores a los recomendados en la literatura, y presenta los mayores valores respecto de los demás sustratos (Turan, 2008).

En la Tabla 4 se aprecia que el TA, conformado por pollinaza, residuos de alimentos crudos y aserrín, tiene un valor de pH cercano al neutro, está dentro del rango recomendado para el realizar el proceso sin inhibición microbológica (Ogunwande & Osunade, 2011), que podrían facilitar el crecimiento de bacterias que descomponen la materia orgánica. De otro lado, el aserrín redujo el contenido de humedad, que contribuyó a tener valores entre 40 y 60%. En relación con el COT, los resultados no son consistentes con los obtenidos previamente; así mismo, se observa alto contenido de nitrógeno que se puede atribuir a que el sustrato predominante en la mezcla es la pollinaza. Esta condición del COT y NT, generó una relación C/N muy baja que no coincide con el balance de masa teórico propuesto para realizar el montaje (ver Anexo E). La CE está dentro de los valores recomendados (3-5 mS/cm) a pesar de la alta concentración presentada en la pollinaza; el fósforo es un nutriente que está involucrado en el almacenamiento de energía (Kreith & Tchobanoglous, 2002),

---

su porcentaje en esta mezcla es menor que en TB y puede estar relacionado con el porcentaje usado de pollinaza.

Para el TB, compuesto de pollinaza, residuos de cebolla y aserrín, el pH presenta un valor alto, que podría promover la conversión de nitrógeno en amoníaco (Rynk et al., 1992), esto se puede deber a que este tratamiento contiene mayor porcentaje de pollinaza (52%). La humedad de este tratamiento fue más baja en comparación al TA, esto puede deberse a la adición de aserrín y condiciones de humedad de los otros sustratos. La relación C/N de esta mezcla es similar a la reportada por el TA, se considera que es un valor muy bajo y no es coherente según la información encontrada previamente en la literatura. De otro lado, la CE de esta mezcla tiene un valor mayor que el TA que puede estar asociado a una mayor proporción de pollinaza. Finalmente, el contenido de fósforo es más alto lo cual puede mejorar el contenido de nutrientes en el producto final (Thomas, Palaniswami, Prabhu, Gopal, & Gupta, 2013).

Analizando el TC, conformado por residuos de cebolla y aserrín, se observa que presenta condiciones adecuada para el proceso acorde con la literatura, reportando un pH cercano al neutro y relación C/N dentro de los rangos recomendados (entre 20:1 y 30:1) según los autores Íñiguez, Parra, & Velasco (2006), para el desarrollo de los microorganismos encargados de la descomposición de la materia orgánica (Soto & Muñoz, 2002). Cabe resaltar que la CE es la más baja de todos los tratamientos, lo cual puede ser consecuencia de la ausencia de pollinaza. Por otro lado, el contenido de fosforo es el más alto de todas las mezclas, el cual se atribuye al elevado porcentaje de aserrín, sustrato rico en este nutriente.

## **6.2 Análisis del comportamiento durante el proceso**

### **6.2.1 Temperatura**

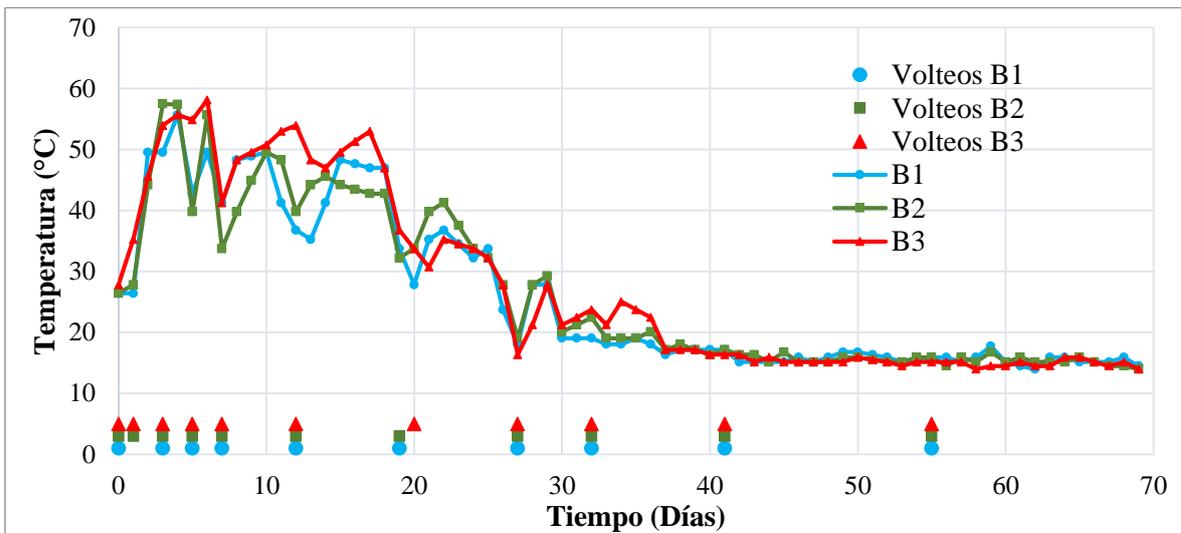
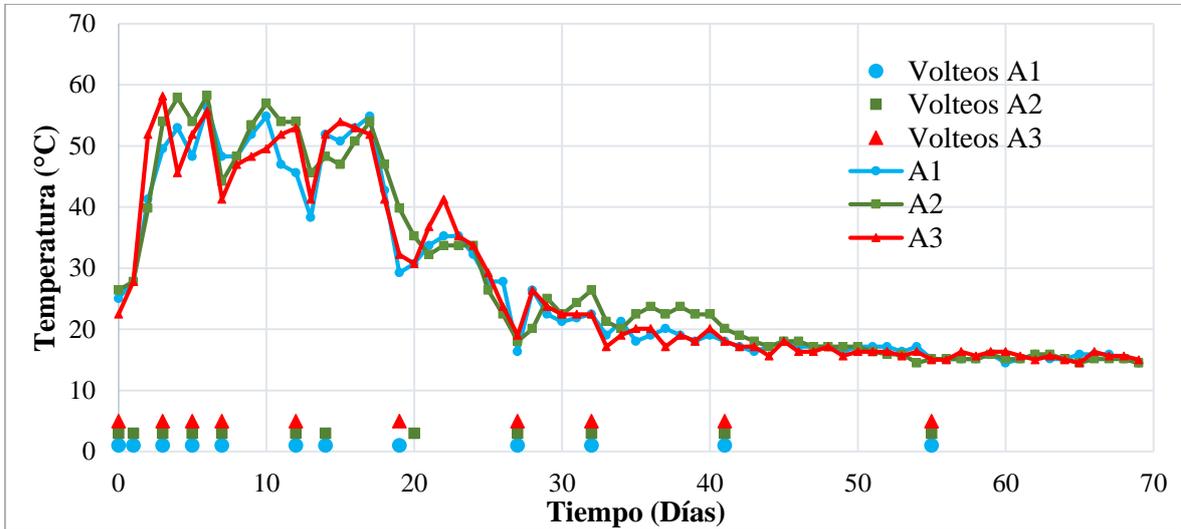
El comportamiento de la temperatura fue similar en los tratamientos A y B. En ambos casos, siguieron un comportamiento típico de proceso de compostaje (Ver Figura 12), con secuencia de las fases mesofílica, termofílica, enfriamiento y maduración. Además, se observa que las tres pilas de cada tratamiento tuvieron comportamientos similares. Según Ugwuanyi, Harvey, & McNeil (2005) la fase termofílica comienza cuando se presentan temperaturas mayores a 45 °C y se debe mantener por lo menos 5 días para garantizar la destrucción de organismos patógenos en la masa. Esta condición se presentó para ambos tratamientos, dándose temperaturas mayores a 45°C, después de 2 días del montaje, y manteniéndose en el rango 45 - 60°C duración de 17 días. La máxima temperatura fue 60 °C y se reportó primero en las pilas A3 y B2, el tercer día del proceso.

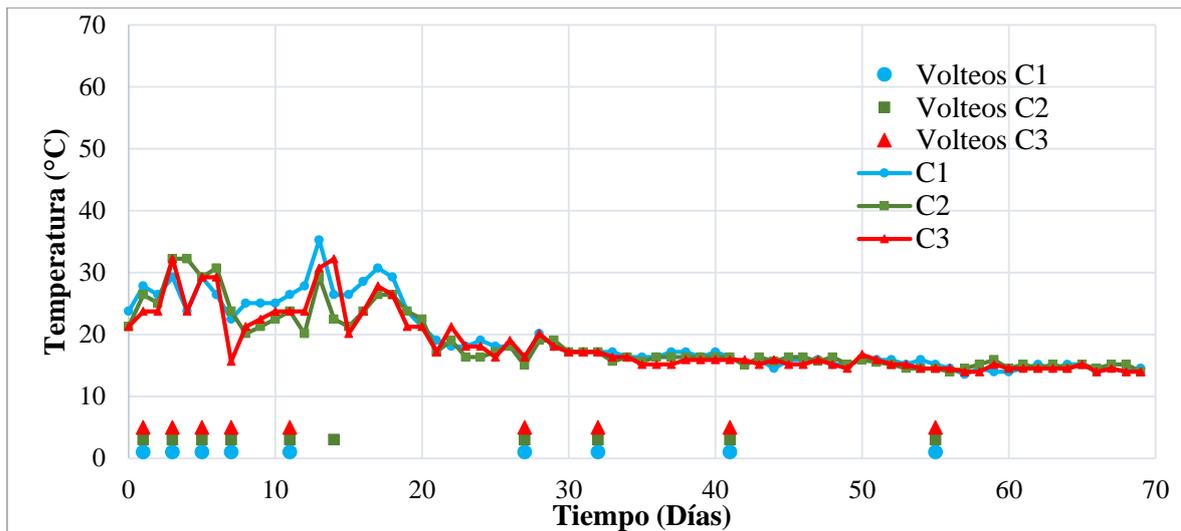
El aumento de temperatura en las pilas de TA puede estar relacionado con material de fácil degradación como carbohidratos, proteínas y aminoácidos procedentes de los residuos de alimentos crudos (R. Oviedo-Ocaña et al., 2015), así como por la presencia de pollinaza utilizada en ambos tratamientos la caul se caracteriza por ser altamente inestable. La fase de enfriamiento comenzó a los 19 días en ambos casos, la masa inició un proceso de estabilización hasta llegar a valores cercanos a la temperatura ambiente. Probablemente el TB tiene un comportamiento más lento en la etapa de enfriamiento debido a que contiene mayor cantidad de pollinaza, la cual puede acelerar el proceso en el inicio pero igualmente desacelera el proceso en las etapas posteriores (Petric et al., 2012).

De otro lado, las pilas C presentan un comportamiento atípico donde no se puede observar las etapas de compostaje debido a que las temperaturas siempre se mantuvieron en un mismo rango entre 16°C y 35°C; probablemente esto se debe a la poca disponibilidad de materia orgánica en las pilas (i.e. debido a que la cebolla empleada durante el montaje, tenía periodos de almacenamiento de alrededor de 1 mes) y eso lleva a que el crecimiento microbiano sea bajo. Durante los primeros 19

días del proceso se registraron altibajos en este parámetro. Según los resultados obtenidos por Martínez-Nieto et al. (2011), los tratamientos que contenían estiércol de ave alcanzaron temperaturas por encima de 70°C. Por el contrario, al mezclar los residuos de cebolla con elodea y cascarilla de arroz se obtuvieron temperaturas por debajo de 50°C. (Arevalo & Meneses, 2017)

**Figura 12. Comportamiento de la temperatura en los tratamientos A, B y C**





### 6.2.2 Humedad

La humedad es un parámetro crítico en el proceso de compostaje. Éste influye en la actividad microbiológica, espacio de aire libre, transferencia de oxígeno y temperatura del proceso (Haug, 1993). Los tratamientos utilizados reportaron bajas humedades debido a la incorporación del aserrín, alcanzando valores iniciales de 53.19 %, 43.02 % y 65.74 % para el TA, TB y TC, respectivamente. Por tal razón, se realizó una humectación preliminar de 20 L para las pilas A, 26 L para las pilas B y 22 L para las pilas C, garantizando así humedades apropiadas para iniciar el proceso que según Chiumenti et al. (2005) deben estar entre 40-60%.

Durante el proceso se realizaron humectaciones para mantener el porcentaje de humedad dentro de los valores recomendados y garantizar que el proceso de descomposición continuara (Rothenberger, Zurbrügg, Enayetullah, & Sinha, 2006), debido a que el aumento de temperatura en las pilas disminuía el contenido de humedad. Los días 0, 5, 12, 19, 32, 41 y 55 se realizaron humectaciones a las pilas A y B, con un total de 72 L y 82 L respectivamente. Las pilas C por su parte no presentaron incrementos de temperatura elevados por lo tanto las humectaciones realizadas a esta pila se hicieron los días 1, 5 y 41 con un total de 34 L, estas pilas requirieron aproximadamente menos de la mitad del agua adicionada a los demás tratamientos (Arevalo & Meneses, 2017).

### 6.2.3 Conductividad eléctrica (CE)

La CE refleja el grado de salinidad en el co-compost, indicando posibles efectos fitotóxicos en el crecimiento de las plantas si se aplica al suelo (Huang, Wong, Wu, & Nagar, 2004). Los valores iniciales de CE para los tratamientos A, B y C fueron 2.23 mS/cm, 3.08 mS/cm y 0.235 mS/cm, respectivamente. Se aprecia que los valores de CE de los tratamientos que contenían pollinaza son similares, probablemente el TB tuvo los valores más altos debido a que tenía mayor cantidad de pollinaza que el TA. Los valores máximos que se obtuvieron fueron 6.1 mS/cm con la pila A2 y 6.47 mS/cm con la pila B1. Por otro lado, el TC mostró los valores más bajos debido a la ausencia de pollinaza en su composición, el máximo valor fue presentado por la pila C3 con 0.8 mS/cm.

El incremento de la CE que se dio durante la fase termofílica fue debido a la descomposición de ácidos (Turan, 2008) y mineralización de la materia orgánica (Gordillo & Chavez, 2010), después se presentó una disminución que puede estar relacionada a la disolución de sales.

---

#### 6.2.4 Aireación

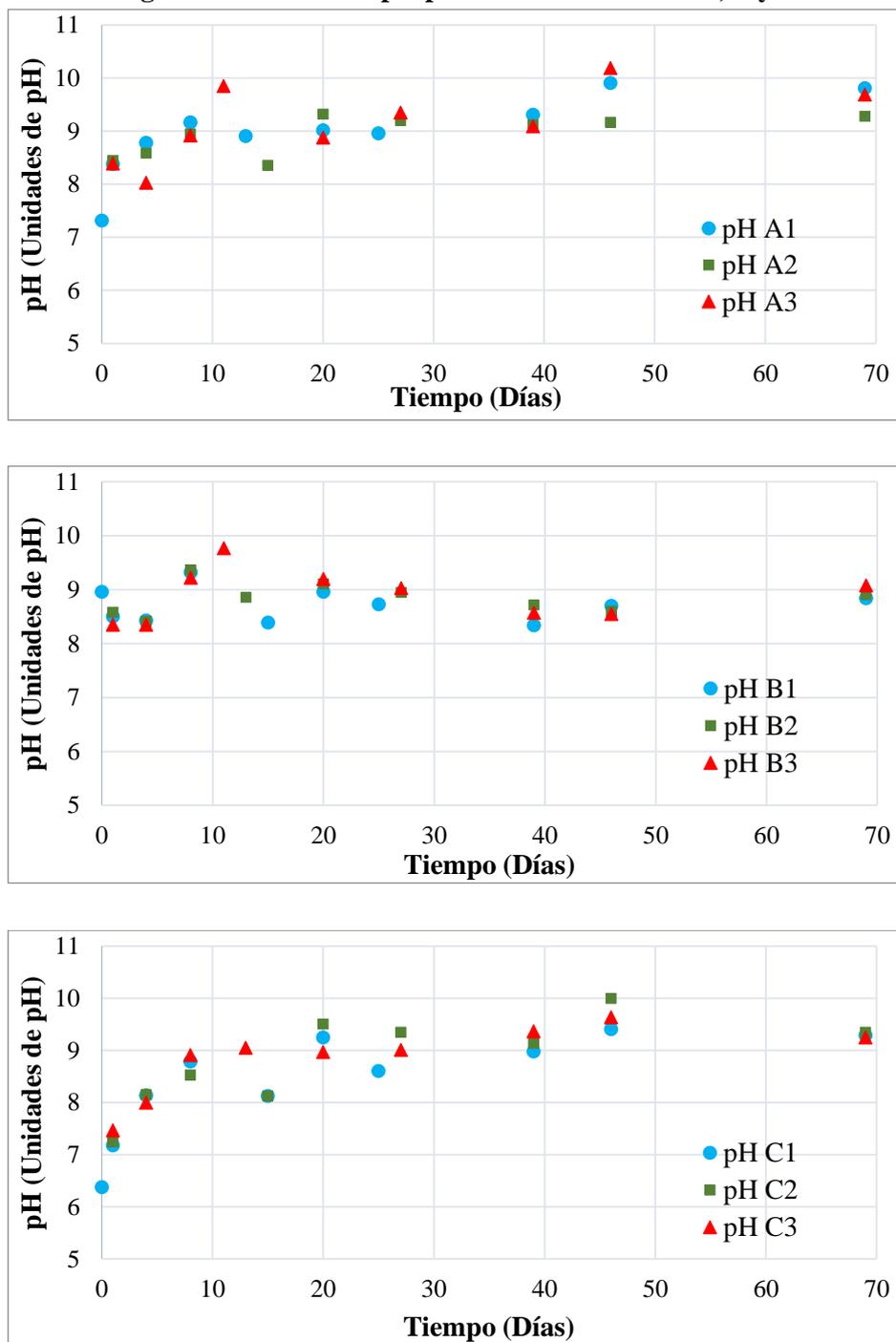
Mantener el balance apropiado entre humedad y oxígeno es una de las claves de la efectividad del compostaje (Trautmann & Krasny, 1997). En el transcurso del proceso se realizaron mediciones de concentración de oxígeno el cual es vital para la actividad de los microorganismos, cuando la saturación de oxígeno arrojaba valores por debajo de 25 % era necesario realizar volteos para garantizar el flujo de aire en las pilas. También se efectuaron volteos para asegurar las condiciones adecuadas (humedad, temperatura) para llevar a cabo el proceso. En la Figura 12 se observa la cantidad de volteos realizados para cada uno de los tratamientos, durante la fase mesofílica se realizó un volteo adicional a las pilas A1, A2, B2 y B3 debido a que su contenido de oxígeno fue muy bajo. En la fase termofílica se hicieron 5 volteos, a excepción de las pilas A1, C2 y A2 que tuvieron que ser movidas por condiciones ambientales que podían afectar el proceso. En la fase de enfriamiento se realizaron 3 volteos a todas las pilas, y finalmente, en la fase de maduración se realizó 1 volteo a cada pila de cada tratamiento.

#### 6.2.5 pH

El pH es permite hacer un seguimiento a las condiciones del proceso; en la primera fase, se presenta un típico descenso asociada a la alta tasa de degradación de la materia orgánica, que genera ácidos orgánicos y dióxido de carbono. En las fases posteriores, decaimientos en el pH podrían mostrar que se están generando condiciones anaerobias, que también liberan ácidos orgánicos (Moreno Casco & Moral Herrero, 2008).

Los valores de pH obtenidos en todos los tratamientos son semejantes entre sí como se observa en la Figura 13. Los valores de pH inicialmente fueron 7.32, 8.96 y 6.38 para los tratamientos A, B y C, respectivamente. La pila A3 presentó el valor máximo de TA con 10.19 el día 46, para el TB, la pila B3 obtuvo un valor de 9.77 el día 11 y para el TC, la pila C2 con 10 el día 46. El rápido incremento del pH durante la fase termofílica puede ser debido a la producción de amoníaco asociada con la degradación de proteínas en los tratamientos, la descomposición de ácidos orgánicos y la liberación de CO<sub>2</sub> durante los volteos (D. Liu et al., 2011). Los datos de pH que decrecen durante el proceso pueden ser atribuidos a la producción de ácidos orgánicos durante la descomposición de materia orgánica contenida en la pollinaza (Charest & Beauchamp, 2002). Generalmente el pH sigue un patrón de comportamiento en el proceso de compostaje, los niveles son bajos en las primeras etapas y elevados en las últimas etapas (Turan, 2008). Al final del proceso, todas las pilas presentaron valores en el rango alcalino, presentando los valores más altos las pilas A.

Figura 13. Valores de pH para los Tratamientos A, B y C



### 6.3 Análisis de calidad del producto

Para analizar la calidad del producto se realizaron diferentes pruebas y se tuvieron en cuenta algunos parámetros que determinan el grado de estabilidad y madurez del producto generado en el proceso de compostaje.

#### 6.3.1 Porcentaje de reducción

Al iniciar el proceso cada pila fue conformada con un total 101 kg. En el transcurso del proceso ocurren diferentes procesos químicos que ocasionan pérdida de masa en cada una de las pilas, en

forma de vapor de agua y CO<sub>2</sub>. Según Alcolea & González (2000) se estima que el porcentaje de reducción debe estar entre 50% y 70%. En la Tabla 5 se observan los pesos del producto tamizado y el rechazo que corresponde al producto retenido en el tamiz, con estos valores es posible calcular el porcentaje de reducción de las pilas. Los porcentajes de reducción más altos fueron reportados por las pilas del TC, debido a que era el tratamiento que presentaba mayor cantidad de residuos de cebolla, los cuales tienen un alto contenido de agua, y en el proceso de transformación biológica sufrió mayor pérdida de agua. Cabe resaltar que los porcentajes de reducción probablemente sean tan bajos debido a que los porcentajes de humedad al finalizar el proceso fueron altos (Ver Tabla 8), lo cual incide en el peso del material tamizado.

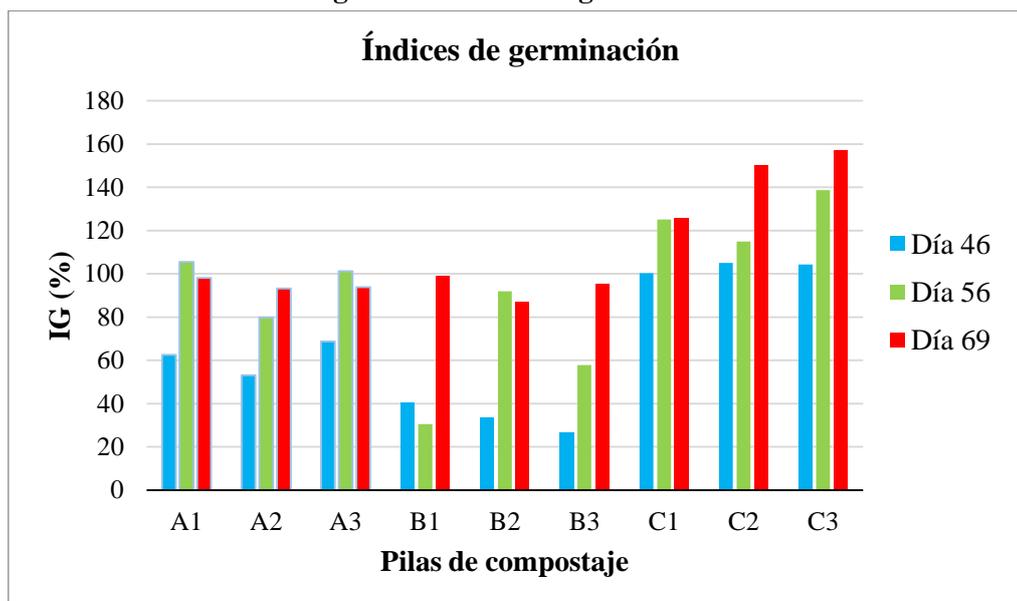
**Tabla 5. Porcentaje de reducción de las pilas de compostaje**

Producto	Tamizado [kg]	Rechazo [kg]	Peso total [kg]	%Reducción
A1	51	21	72	29%
A2	50	15	65	36%
A3	50	19	69	32%
B1	59	30	89	12%
B2	56	24	80	21%
B3	60	13	73	28%
C1	52	10	62	39%
C2	45	11	56	45%
C3	47	13	60	41%

### 6.3.2 Índice de germinación (IG)

Durante el proceso se realizaron tres pruebas de germinación en los días 46, 56 y 69. Las pruebas fueron evaluadas según la norma chilena NCh 2880, en donde se plantea que el IG debe ser mayor o igual a 80% (INN, 2004), lo que indica que no hay sustancias fitotóxicas o están en muy baja concentración (Varnero et al., 2007). La Figura 14 muestra los resultados de todas las pruebas realizadas a todos los tratamientos.

**Figura 14. Índices de germinación**



El TA mostró resultados favorables en las pruebas realizadas los días 56 y 69, y el TB tuvo resultados acordes con lo señalado en la norma únicamente el día 69, los resultados que no cumplieron demuestran que probablemente las pilas aún se encontraban en estado de descomposición de orgánicos que conllevan a la generación de compuestos fitotóxicos (E. R. Oviedo-Ocaña et al., 2015). Por otro lado, el TC obtuvo los mejores resultados en los tres días que se realizaron las pruebas, con IG mayores al 100 %, lo cual indica según Trautmann & Krasny (1997) que estos compost incrementan el crecimiento más que deteriorarlo. A pesar de que las pilas TC tuvieron un comportamiento de temperatura que difiere del típico, al momento del tamizaje se observaron poblaciones significativas de lombrices que posiblemente se encontraban en la cebolla junca al momento del montaje y que contribuyeron al proceso de degradación del material.

Acorde con Manios (2004) el compost con valores altos de CE presenta comportamientos fitotóxicos que afectan la germinación de las semillas cuando se usan en grandes cantidades, los valores de CE reportados para el día 69 son consistentes con los resultados obtenidos en la prueba de germinación de todos los tratamientos (Anexo G).

### 6.3.3 Prueba de Estabilidad (Autocalentamiento)

Al finalizar el proceso de compostaje se tomaron muestras del producto obtenido para realizar la prueba de estabilidad con el equipo RM82. En la Tabla 6 se observan los resultados obtenidos después de transcurrir los 10 días de prueba. Se observa que todos los tratamientos reportan grado de descomposición entre IV y V, lo cual significa que el compost generado en el proceso de compostaje realizado en el Páramo de Berlín es un compost **estable**. El grado V indica un compost muy estable y bien madurado, mientras que el grado IV señala un compost moderadamente estable y maduro. En el Anexo H se encuentran las gráficas que describen el comportamiento de la temperatura en el periodo de prueba de cada uno de los tratamientos estudiados.

**Tabla 6. Grado de descomposición de cada tratamiento**

Tratamiento	Grado de descomposición
TA1	IV
TA2	V
TA3	IV
TB1	IV
TB2	V
TB3	IV
TC1	IV
TC2	V
TC3	V

### 6.3.4 Análisis organolépticos

En la Tabla 7 se muestran los resultados de los análisis organolépticos realizados por la Universidad de Antioquia a las nueve muestras del producto. Se observa que todas las pilas presentan características de estabilidad acorde con lo reportado por Oviedo-Ocaña et al. (2015).

**Tabla 7. Estado, Color y Textura de los productos**

Tratamiento	Estado	Color	Textura
TA1	Sólida	Café	Gruesa heterogénea
TA2	Sólida	Café	Gruesa heterogénea
TA3	Sólida	Café	Gruesa heterogénea
TB1	Sólida	Café	Gruesa heterogénea
TB2	Sólida	Café	Gruesa heterogénea
TB3	Sólida	Café	Gruesa heterogénea
TC1	Sólida	Café	Gruesa heterogénea
TC2	Sólida	Café	Gruesa heterogénea
TC3	Sólida	Café	Gruesa heterogénea

### 6.3.5 Análisis fisicoquímicos

Los análisis de parámetros físico químicos y microbiológicos de cada uno de los productos obtenidos al finalizar el proceso de compostaje fueron realizados por el Grupo Interdisciplinario de Estudios Moleculares (GIEM) de la Universidad de Antioquia. En la Tabla 8 se muestran los resultados de los parámetros fisicoquímicos de cada uno de los productos generados. Los valores se reportan en base seca.

**Tabla 8. Parámetros físico químicos al finalizar el proceso**

Parámetro	TA1	TA2	TA3	TB1	TB2	TB3	TC1	TC2	TC3	NTC 5167
Cenizas (%)	17.00	18.10	19.50	23.00	27.30	24.70	29.00	23.40	30.10	<60
CIC (meq/100 g)	48.5	54.4	51.0	53.1	49.5	56.0	45.8	43.0	43.5	>30
COT (%)	39.0	35.9	39.0	37.0	33.5	35.9	36.3	35.0	36.8	>15
CE (dS/m)	4.47	4.05	5.17	4.04	5.42	4.04	0.53	0.09	0.80	-
CRA (%)	292	259	311	339	272	357	294	360	298	>100
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	0.21	0.19	0.27	0.23	0.19	0.23	0.30	0.18	0.29	<0.6
Fósforo total (%)	0.52	0.89	0.54	0.71	0.64	0.88	0.016	0.017	0.022	>1
Humedad (%)	56.6	53.8	58.0	55.8	52.5	48.7	47.0	50.9	44.6	<35
NT (%)	1.60	1.76	1.72	1.59	1.70	1.61	0.60	0.64	0.63	>1
pH (%)	8.79	9.11	8.83	8.55	8.76	8.59	7.76	7.89	7.96	>4 - <9
Relación C/N	24.40	20.40	22.70	23.20	19.60	22.30	60.20	54.60	58.40	-
Calcio Total (%)	1.388	2.354	1.606	1.94	1.676	2.11	1.004	2.53	1.092	-
Potasio Total (%)	1.71	2.45	2.04	2.098	2.01	2.11	0.754	0.704	0.776	>1
Magnesio total (%)	0,251	0,552	0,437	0,4954	0,463	0,548	0,0978	0,1087	0,1169	-
Sodio total (%)	0,968	1,0895	1,055	1,079	1,0557	1,0971	0,912	0,824	0,88	-
Zinc total (%)	0,0204	0,0355	0,021	0,0541	0,0276	0,0344	0,0026	0,0025	0,0033	-

Nota: CIC. Capacidad de Intercambio Catiónico, COT. Carbono Orgánico Total, CE. Conductividad eléctrica, NT. Nitrógeno Total.

El contenido de cenizas se conserva constante durante el compostaje (Moreno Casco & Moral Herrero, 2008), aunque debido la pérdida de masa y humedad, se encuentra más concentrado. Según la norma NTC 5167 el contenido de cenizas debe ser máximo 60%, en la Tabla 8 se observa que todos los valores cumplen con lo establecido. El mayor contenido de cenizas se encontró en las pilas C, lo que puede estar asociado a la presencia de material mineral o inorgánico proveniente del suelo adherido a los residuos de cebolla junca.

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) es una medida de la capacidad que tiene el compost para sostener intercambios de cationes como potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y

---

sodio (Na), con superficies cargadas negativamente (Sullivan & Miller, 2001). Esta variable tiende a incrementar a lo largo del proceso (Rynk et al., 1992). En la NTC 5167 se establece que este parámetro debe ser mínimo 30 meq/100 g. En la Tabla 8, se observa que todos los tratamientos cumplen con este requisito.

La CE refleja el grado de salinidad en el compost, indicando posibles efectos fitotóxicos que inhiben el crecimiento de las plantas al ser aplicados al suelo (Huang et al., 2004). Los autores Koivula, Urpilainen, Ranta, Kari, & Tarja (2004) recomiendan valores menores a 4 dS/m. La Tabla 8 muestra que los productos del TA y TB están cercanos a ese valor, exceptuando TA3 y TB2, que reportan valores por encima de 5 dS/m. Al comparar estos resultados con la prueba de germinación realizada el día 69 del proceso, es posible afirmar que estos dos tratamientos son los que presentan mayores efectos fitotóxicos. Por otro lado, el TC obtuvo los valores más bajos debido posiblemente a la ausencia de pollinaza en su composición.

La capacidad de retención de agua (CRA) es la cantidad de agua sostenida en los poros después de la pérdida por gravedad para un tiempo específico (Sullivan & Miller, 2001). EL autor Paul (2007) propone valores entre 150% - 200 %. Adicional a esto, la NTC 5167 propone que la capacidad de retención de humedad debe ser mayor a 100%. Se observa que todos los valores se encuentran por encima de los valores propuestos.

Según la NTC 5167, la densidad debe ser menor a 0.6 g/cm<sup>3</sup>. Todos los tratamientos cumplen con este requerimiento siendo el mayor TC1 (0.30 g/cm<sup>3</sup>) y el menor TC2 (0.18 g/cm<sup>3</sup>). Estas características del producto junto con la CRA podrían generar efectos positivos en las propiedades físicas del suelo, incrementando la porosidad y la posibilidad de almacenar agua.

Solo una porción del total de P, Ca y Mg en el compost va a estar disponible para la planta. Esencialmente el total de K presente en el compost está disponible (Sullivan & Miller, 2001). Según la NTC 5167, el fósforo y el potasio deben ser mayor al 1%. En los resultados obtenidos ninguna de las unidades experimentales cumple este requisito para el fósforo, mientras que para el potasio esta condición no se cumple en las pilas TC. Durante el proceso el contenido de fósforo disminuyó en todos los tratamientos, lo cual puede estar asociado a la solubilización del fósforo, que posteriormente pueden ser pérdidas durante la lixiviación en las pilas de compostaje. Las bajas concentraciones tanto de fosforo como de potasio en los productos, están asociadas a la baja concentración de éstos en los sustratos empleados en este estudio y muestran la necesidad de identificar fuentes alternativas de residuos con estos nutrientes que mejoren la calidad de producto.

El contenido de humedad debe ser menor de 35% según la NTC 5167, en todos los tratamientos se considera alto, siendo TA3 (58.0%) y TC3 (44.6%) el de mayor y menor contenido de humedad. Esto posiblemente está asociado a procesos de humectación realizados días previos a la finalización del experimento. Aunque los altos valores de humedad en un producto estabilizado no generan un problema de calidad en el producto, si puede afectar la comercialización y mercadeo. Una alternativa para manejar estos valores de humedad incluyen la realización de más volteos en la etapa de maduración o tratamientos posteriores como solarización en condiciones controladas para deshidratar y quitar humedad (Salamanca Libreros, 2012).

Acorde con Sullivan & Miller (2001), el pH final del compost es altamente dependiente de los sustratos, el proceso de compostaje y la adición de cualquier enmienda. Además, proponen que el rango de pH para compost terminados sea de 6.0 a 8.0. La NTC 5167 da un valor un rango admisible entre 4.0 y 9.0. Todas las unidades experimentales cumplen con este requisito de la norma exceptuando a TA2 que reporta un valor de 9.11. El incremento de pH hasta rangos alcalinos es

atribuido a el consumo de protones durante la descomposición de ácidos grasos volátiles, la generación de CO<sub>2</sub> y la mineralización de nitrógeno orgánico (E. R. Oviedo-Ocaña et al., 2015).

La relación C/N ha sido excesivamente usada como indicador de estabilidad y madurez durante el compostaje (E. R. Oviedo-Ocaña et al., 2015), aunque los autores Sullivan & Miller (2001) afirman que está más relacionada con los sustratos que con la maduración. Algunos autores proponen valores admisibles para la relación C/N del compost obtenido: Paul (2007) propone (< 20) y la norma Hong Kong Organic Resource Centre (2005) establece (< 25). Los resultados de los TA y TB cumplen con lo estipulado, pero TC presenta un valor relativamente alto que puede deberse a que era el único tratamiento con mayor cantidad de aserrín que es un sustrato muy rico en carbono.

### 6.3.6 Análisis microbiológico

El compostaje es un proceso biológico en donde los microorganismos, bajo condiciones controladas, convierten materiales orgánicos como estiércol, lodo, hojas, papel y residuos de alimentos en compost (Rynk et al., 1992). Los microorganismos de mayor importancia en el compostaje son las bacterias, los hongos y los actinomicetos mesófilos (i.e. tolerantes a temperaturas medias) (Haug, 1993; Soto & Muñoz, 2002). Las bacterias son los microorganismos más pequeños, están siempre presentes en la biomasa y son ampliamente dominantes por entidad y tipo de actividad, aunque tienen dificultad para adaptarse a pH bajos (Chiumenti et al., 2005).

Los hongos tienen la capacidad de crecer en condiciones de baja humedad, que no favorecen el crecimiento de bacterias, además pueden tolerar valores de pH relativamente bajos, pudiendo estar presentes en un rango de 2 a 9 (Tchobanoglous, Theisen, & Vigil, 1994). Por otro lado, los actinomicetos son un grupo de microorganismos intermedio entre las bacterias y los hongos, son los encargados del olor a tierra del compost (Rynk et al., 1992). En la Tabla 9 se muestran los resultados obtenidos del análisis microbiológico realizado a los productos de compostaje.

**Tabla 9. Análisis microbiológico de los productos obtenidos**

Tratamiento	Mesófilos ufc / g	Pseudoma aeruginosa ufc / g	NMP Coliformes totales/100 mL	NMP Coliformes fecales/100 ml
TA1	1,00E+09	0,00E+00	53	19
TA2	1,00E+09	0,00E+00	>2400	< 3
TA3	1,00E+09	0,00E+00	1100	9
TB1	1,00E+09	0,00E+00	>2400	< 3
TB2	1,00E+09	0,00E+00	460	13
TB3	1,00E+09	0,00E+00	20	< 3
TC1	1,00E+09	0,00E+00	>2400	29
TC2	1,00E+09	0,00E+00	290	16
TC3	1,00E+09	0,00E+00	1100	16

Nota: ufc. Unidades Formadoras de Colonias.

Las bacterias pueden clasificarse entre psicrófilas, mesófilas o termófilas, según el rango de temperatura en que funcionen mejor. Las mesófilas se desarrollan en un rango de 20-50°C (Tchobanoglous et al., 1994), en la primera etapa convierten los sustratos de fácil degradación y esta actividad incrementa la temperatura. Probablemente la cantidad reportada de mesófilos se presenta porque aún existe materia orgánica en descomposición, aunque en menor proporción.

Las bacterias pseudomona aeruginosa son organismos patógenos (Paul, 2007). Según Hubbe et al. (2010), se encuentran presentes en la fase mesofílica y gracias a las altas temperaturas

presentadas en la fase termofílica son eliminados definitivamente. En la Tabla 9 se observa que ningún tratamiento reporta presencia de este microorganismo.

Según la NTC 4487, los coliformes son un grupo de bacterias que presentan ciertas características bioquímicas en común e importancia relevante como indicadores de contaminación (Icontec, 2007). La norma chilena NCh 2880 indica que todas las clases de compost deben cumplir con los requisitos de tolerancia de patógenos, establece que los coliformes fecales deben ser  $<$  a 1000 NMP por gramo de compost, en base seca (INN, 2004). En los resultados se observa que todos los tratamientos cumplen con lo establecido.

El TC, a pesar de ser el único tratamiento sin pollinaza, presentó los valores más altos de coliformes fecales, lo cual pudo estar asociado a la ausencia de temperaturas termofílicas que garantizaran una mayor eliminación. Los TA y TB presentaron valores más bajos pese a que contenían altas proporciones de pollinaza.

#### 6.4 Montaje y monitoreo pilas demostrativas

Durante 50 días se llevó a cabo el monitoreo de las pilas demostrativas, los agricultores asistieron en varias ocasiones para evidenciar los cambios que sufrió la materia orgánica en el transcurso del proceso. En la Figura 15 se puede observar la transformación biológica que sufrieron las pilas durante el proceso.

**Figura 15. Transformación biológica de la pila TBD**



En la Figura 16 se observan a los agricultores realizando monitoreo de las pilas en los días 7, 21 y 42 del proceso, respectivamente. En los primeros días del montaje pudieron evidenciar las altas temperaturas que se presentan durante el proceso y en cada visita lograron identificar las etapas del compostaje.

**Figura 16. Monitoreo con los agricultores días 7, 21 y 42 del proceso**



Los agricultores se mostraron interesados en la realización de este proceso en cada una de sus fincas por cuenta propia.

---

## 7 Conclusiones y recomendaciones

Este estudio permitió ratificar que la pollinaza aplicada actualmente en el cultivo de la cebolla junca en el corregimiento de Berlín, presenta características inestables, que podrían afectar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo cuando son aplicados en el proceso de cultivo. A partir de una revisión de las condiciones locales y de la literatura, se identificaron materiales potenciales para ser empleados en el compostaje de pollinaza, seleccionándose los residuos de alimentos crudos, aserrín y la cebolla junca.

Se realizó un montaje experimental para evaluar el proceso y la calidad del producto del compostaje de los sustratos mencionados, conformándose tres tratamientos denominados: Tratamiento A (i.e. conformado por 43% de pollinaza, 41% de residuos de alimentos crudos y 18% de aserrín), Tratamiento B (i.e. conformado por 52% de pollinaza, 32% de residuos de cebolla y 16% de aserrín) y Tratamiento C (i.e. conformado por 50% de cebolla junca y 50% aserrín). El comportamiento de la temperatura en TA y TB fue típico del proceso de compostaje con fases secuenciales de temperaturas en el rango mesofílico, termofílico, enfriamiento y maduración. De otro lado, TC no presentó temperaturas típicas de un proceso de compostaje debido posiblemente al estado de degradación de los residuos de cebolla al momento del inicio del experimento.

Respecto de la duración del tiempo de proceso, el monitorio permitió encontrar que TA y TB, dada su composición, presentaron características similares en la evolución del proceso, obteniendo una fase mesofílica de 2 días, termofílica de 17 días, enfriamiento de 23 días y maduración de 27 días esta última tiene mayor duración probablemente debido a que la degradación de compuestos resistentes en el material, como el aserrín. El TC debido a su comportamiento atípico por la insuficiencia de materia orgánica, no permitió evidenciar las fases típicas del proceso de compostaje.

En las pruebas de estabilidad y madurez, todos los tratamientos obtuvieron resultados favorables al momento de finalización del experimento (i.e. 69 días), lo cual indica que las mezclas realizadas fueron efectivas; esto podría contribuir a la búsqueda de solución al problema de inestabilidad de la pollinaza usada en los cultivos, a los residuos de alimentos crudos generados por la comunidad en el páramo de Berlín y a los residuos de cebolla que son dispuestos por los agricultores a la intemperie. El TC se destaca por ser el tratamiento con los índices de germinación más altos, además dos pilas de este tratamiento presentaron grado V en la prueba de estabilidad, mientras que en los demás solo una de las tres pilas del tratamiento obtuvo esta condición. También cabe resaltar que el TB durante el proceso fue el que presentó mayores efectos fitotóxicos, esto puede deberse a que este tratamiento contenía mayor cantidad de pollinaza por lo tanto, mayor contenido de sales. Un incremento en el periodo de maduración podría ser efectivo para reducir las condiciones de CE en las pilas de compostaje.

Se recomienda realizar el proceso de compostaje aumentando la masa y la altura de las pilas, con el propósito de obtener mayores temperaturas y mejores condiciones para los microorganismos que degradan la materia. Así mismo, se podrían emplear la mezcla de materiales del tratamiento A que evidenció mejores resultados en el proceso y calidad del producto. Para el tratamiento B, es recomendable cambiar las proporciones disminuyendo el porcentaje de pollinaza y aumentando las masas del aserrín y la cebolla, con el objetivo de evaluar el efecto en el proceso, la disminución de los efectos fitotóxicos y la calidad del producto. El tratamiento C podría optimizarse adicionando

---

sustratos que contenga cantidad de materia orgánica de rápida degradación, que permitan alcanzar las temperaturas de higienización del material.

Con el propósito de sustituir los fertilizantes inorgánicos por productos orgánicos en el páramo de Berlín, es aconsejable realizar el proceso de compostaje adicionando a todos los tratamientos roca fosfórica, la cual es una fuente natural de fósforo y puede aumentar el porcentaje de este nutriente en los productos finales, permitiendo un adecuado suministro de nutrientes esenciales para el proceso de cultivo de cebolla junca. Así mismo, se requiere evaluar el efecto de la aplicación de productos obtenidos en procesos de compostaje de estos materiales, en parcelas controladas, que permitan evaluar el rendimiento en los cultivos.

Se recomienda hacer seguimiento al tema de compostaje con los agricultores de la zona, dado al interés evidenciado durante el montaje y monitoreo de las pilas demostrativas, para que puedan realizar esta práctica de manera adecuada en cada uno de sus predios. Así mismo, para incluir nuevos agricultores interesados en la aplicación de este tipo de productos.

---

## 8 Referencias

- Alcolea, M., & González, C. (2000). *Manual de compostaje doméstico*. Barcelona.
- Arevalo, L., & Meneses, P. (2017). *EVALUACIÓN DEL PROCESO DE COMPOSTAJE DE RESIDUOS DE CEBOLLA JUNCA, POLLINAZA FRESCA Y OTROS MATERIALES ORGÁNICOS*. Universidad Industrial de Santander.
- Arias, H. (2017). *Auxiliar de investigación en el proyecto para la selección de materiales para el acondicionamiento de los residuos de gallinaza y postcosecha del cultivo de la cebolla junca con miras a su compostaje. Caso: Páramo de Berlín (Santander)*. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.
- CDMB. (2004). Plan de gestión ambiental regional 2004 – 2013.
- Charest, M., & Beauchamp, C. J. (2002). Composting of de-inking paper sludge with poultry manure at three nitrogen levels using mechanical turning: behavior of physico-chemical parameters. *Bioresource Technology*, *81*, 7–17.
- Chiumenti, A., Chiumenti, R., Diaz, L. F., Savage, G., Eggerth, L., & Goldstein, N. (2005). *Modern Composting Technologies*. Singapore: Journal of Composting y Organics Recycling.
- de Bertoldi, M., Vallini, G., & Pera, A. (1983). The biology of composting: A review. *Waste Management & Research*, *1*(2), 157–176. [https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/0734-242X\(83\)90055-1](https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/0734-242X(83)90055-1)
- Dias, B. O., Silva, C. A., Higashikawa, F. S., Roig, A., & Sánchez-Monedero, M. A. (2010). Use of biochar as bulking agent for the composting of poultry manure: Effect on organic matter degradation and humification. *Bioresource Technology*, *101*(4), 1239–1246. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.09.024>
- Diaz, L. F., De Bertoldi, M., Bidlingmaier, W., & Stentiford, E. (2007). *Compost science and technology* (1st ed.).
- Dios Pérez, M. (2008). *Estudio y desarrollo de técnicas respirométricas para el control de la estabilidad del compost*. Universidad de Córdoba, Córdoba, España.
- Dulac, N. (2001). *The Organic Waste Flow in Integrated Sustainable Waste Management. Tools for Decision-markers, experiences from the urban waste expertise programme (1995-2001)*.
- Epstein, E. (2011). *Industrial composting: Environmental engineering and facilities management*. Boca Raton.
- Gaind, S., & Nain, L. (2010). Exploration of composted cereal waste and poultry manure for soil restoration. *Bioresource Technology*, *101*(9), 2996–3003. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.12.016>
- Gordillo, F., & Chavez, E. (2010). Evaluación comparativa de la calidad del compost producido a partir de diferentes combinaciones de desechos agroindustriales azucareros. Guayaquil, Ecuador.
- Haug, R. T. (1993). *The practical handbook of compost engineering*. Boca raton, Florida.
- Hong Kong Organic Resource Centre. (2005). *Compost and Soil Conditioner Quality Standards*. Kowlong Tong.
- Huang, G. F., Wong, J. W. C., Wu, Q. T., & Nagar, B. B. (2004). Effect of C/N on composting of pig manure with sawdust. *Waste Management*, *24*(8), 805–813.

---

<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2004.03.011>

- Hubbe, M. A., Nazhad, M., & Sánchez, C. (2010). Composting as a way to convert cellulosic biomass and organic waste into high-value soil amendments: A review. *BioResources*, 5(4), 2808–2854.
- Icontec. Microbiología de alimentos y de alimentos para animales. Método horizontal para el recuento de coliformes. NTC 4458, Instituto colombiano de normas técnicas y certificación ICONTEC § (2007).
- ICONTEC. (2004). Productos Para La Industria Agrícola. Productos Orgánicos Usados Como Abonos O Fertilizantes Y Enmiendas De Suelo. (Ntc-5167), 150.
- INN. (2004). Norma Chilena de Compost 2880-2004 (NCh 2880-2004), Compost - Clasificación y Requisitos, 27.
- Íñiguez, G., Parra, J., & Velasco, P. A. (2006). UTILIZACIÓN DE SUPRODUCTOS DE LA INDUSTRIA TEQUILERA. PARTE 8. EVOLUCIÓN DE ALGUNOS CONSTITUYENTES DE LA MEZCLA DE BIOSÓLIDOS-BAGAZO DE AGAVE DURANTE EL COMPOSTAJE Gilberto. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 22(2), 83–93.
- Koivula, N., Urpilainen, S., Ranta, J., Kari, H., & Tarja, R. (2004). Ash in composting of source-separated catering waste. *Bioresource Technology*, 93, 291–299. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2003.10.025>
- Kontrolgrün. (n.d.). Medición de Calidad. Dispositivo RM82. Retrieved from [http://www.kontrolgrun.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=127&Itemid=698](http://www.kontrolgrun.com/index.php?option=com_content&view=article&id=127&Itemid=698)
- Kreith, F., & Tchobanoglous, G. (2002). *Handbook of Solid Waste Management. Waste Management Research* (Vol. 13). <https://doi.org/10.1006/wmre.1995.0050>
- Lazcano, C., Gómez-Brandón, M., & Domínguez, J. (2008). Comparison of the effectiveness of composting and vermicomposting for the biological stabilization of cattle manure. *Chemosphere*, 72(7), 1013–1019. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2008.04.016>
- Lester, J. N., & Birkett, J. W. (1999). Composting. In *Microbiology and Chemistry for Environmental Scientists and Engineers*.
- Li, J. T., Zhong, X. L., Wang, F., & Zhao, Q. G. (2011). Effect of poultry litter and livestock manure on soil physical and biological indicators in a rice-wheat rotation system. *Plant, Soil and Environment*, 57(8), 351–356.
- Liu, D., Zhang, R., Wu, H., Xu, D., Tang, Z., Yu, G., ... Shen, Q. (2011). Changes in biochemical and microbiological parameters during the period of rapid composting of dairy manure with rice chaff. *Bioresource Technology*, 102(19), 9040–9049. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.07.052>
- Liu, N., Zhou, J., Han, L., Ma, S., Sun, X., & Huang, G. (2017). Role and multi-scale characterization of bamboo biochar during poultry manure aerobic composting. *Bioresource Technology*, 241, 190–199. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.03.144>
- MacGregor, S. T., Miller, F. C., Psarianos, K. M., & Finstein, M. S. (1981). Composting Process Control Based on Interaction Between Microbial Heat Output and Temperature. *Applied and Environmental Microbiology*, 41(6), 1321–1330.
- Manios, T. (2004). The composting potential of different organic solid wastes : experience from the island of Crete, 29, 1079–1089. [https://doi.org/10.1016/S0160-4120\(03\)00119-3](https://doi.org/10.1016/S0160-4120(03)00119-3)

- Martínez-Nieto, P., García-González, D., Silva-Bonilla, P. S., Vargas-Chaparro, G., & Valderrama-Escallón, F. (2011). Manejo de residuos generados directa e indirectamente por el cultivo de cebolla en Aquitania (Boyaca-Colombia). *Revista AIDIS de Ingeniería Y Ciencias Ambientales: Investigación, Desarrollo Y Práctica*, 4(2), 23–34.
- Moreno Casco, J., & Moral Herrero, R. (2008). *Compostaje*. Madrid: Mundi-Prensa.
- Neugebauer, M., & Sołowiej, P. (2017). The use of green waste to overcome the difficulty in small-scale composting of organic household waste. *Journal of Cleaner Production*, 156, 865–875. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.04.095>
- Ogunwande, G. A., & Osunade, J. A. (2011). Passive aeration composting of chicken litter: Effects of aeration pipe orientation and perforation size on losses of compost elements. *Journal of Environmental Management*, 92(1), 85–91. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.08.026>
- Oviedo-Ocaña, E. R., Dominguez, I., Torres-Lozada, P., Marmolejo-Rebellón, L. F., Komilis, D., & Sanchez, A. (2016). A qualitative model to evaluate biowaste composting management systems using causal diagrams: a case study in Colombia. *Journal of Cleaner Production*, 133, 201–211. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.05.115>
- Oviedo-Ocaña, E. R., Torres-Lozada, P., Marmolejo-Rebellón, L. F., Hoyos, L. V., Gonzales, S., Barrera, R., ... Sanchez, A. (2015). Stability and maturity of biowaste composts derived by small municipalities: Correlation among physical, chemical and biological indices. *Waste Management*, 44, 63–71. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.07.034>
- Oviedo-Ocaña, E. R., Torres-Lozada, P., Marmolejo-Rebellón, L. F., Torres-López, W. A., Dominguez, I., Komilis, D., & Sánchez, A. (2017). A systematic approach to evaluate parameter consistency in the inlet stream of source separated biowaste composting facilities: A case study in Colombia. *Waste Management*. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.02.010>
- Oviedo-Ocaña, R., Marmolejo-Rebellón, L. F., Torres-Lozada, P., Daza, M., Andrade, M., Torres-López, W. A., & Abonia-Gonzalez, R. (2015). Effect of adding bulking materials over the composting process of municipal solid biowastes. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 75(4), 472–480. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392015000500013>
- Paul, E. A. (2007). *Soil Microbiology and Biochemistry* (Third edit).
- Peñarete, W. (2011). *Curso de Fundamentos de Suelo. Escuela de Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente (EIDENAR). Facultad de Ingeniería. Universidad del Valle. Santiago de Cali, Colombia.*
- Petric, I., Helić, A., & Avdić, E. A. (2012). Evolution of process parameters and determination of kinetics for co-composting of organic fraction of municipal solid waste with poultry manure. *Bioresource Technology*, 117, 107–116. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.04.046>
- Petric, I., Sestan, A., & Sestan, I. (2009). Influence of wheat straw addition on composting of poultry manure. *Process Safety and Environmental Protection*, 87, 206–212. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2009.02.002>
- Preusch, P. L., Adler, P. R., Sikora, L. J., & Tworowski, T. J. (2002). Nitrogen and Phosphorus Availability in Composted and Uncomposted Poultry Litter. *J. Environ. Qual.*, 31, 2051–2057.
- Quichimbo, P., Tenorio, G., Borja, P., Cárdenas, I., Crespo, P., Celleri, R. (2012). Efecto sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos por el cambio de la cobertura vegetal y uso del suelo: Páramo de Quimsacocha al sur del Ecuador. *Suelos Ecuatoriales* 2 (42), 138-153.

- 
- Rawoteea, S. A., Mudhoo, A., & Kumar, S. (2017). Co-composting of vegetable wastes and carton : Effect of carton composition and parameter variations. *Bioresource Technology*, 227, 171–178. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.12.019>
- Reina, C. E., Cuenca Perdomo, J. I., & Ortega Ospina, F. (1996). *Manejo postcosecha y evaluación de la calidad para la cebolla junca y el apio que se comercializa en la ciudad de Neiva*. Neiva.
- Rizzo, P. F., Torre, V. Della, Riera, N. I., Crespo, D., Barrena, R., & Sánchez, A. (2013). Co-composting of poultry manure with other agricultural wastes: process performance and compost horticultural use. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 1–9. <https://doi.org/10.1007/s10163-013-0221-y>
- Rothenberger, S., Zurbrügg, C., Enayetullah, I., & Sinha, a H. M. M. (2006). *Decentralised Composting for Cities of Low- and Middle- Income Countries*.
- Rynk, R., van de Kamp, M., B. Willson, G., Singley, M. E., Richard, T. L., Kolega, J. L., ... Brinton, W. F. (1992). On-Farm Composting Handbook. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, 77, 132. <https://doi.org/10.1111/j.1540-5834.2012.00684.x>
- Sakurai, K. 2001. Método sencillo del análisis de residuos sólidos. Hojas de Divulgación Técnica (HDT) 17. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). Available at <http://www.bvsde.paho.org/cdromrepi86/fulltexts/eswww/proyecto/repidisc/publica/hdt/hdt017.html> (accessed October 2013).
- Salamanca Libreros, S. (2012). Compostaje de residuos industriales en Colombia. *Revista Técnicaña*, 28, 13–18.
- Sarmiento, C. y P. Ungar (Eds). (2014). Aportes a la delimitación del páramo mediante la identificación de los límites inferiores del ecosistema a escala 1:25.000 y análisis del sistema social asociado al territorio: Complejo de Páramos Jurisdicciones – Santurbán – Berlín Departamentos de Santander y Norte de Santander. Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Shah, M. C., Kansara, J. C., & Shilpkar, P. G. (2015). Composting of Calotropis gigantea Leaves In Presence of Sheep Dung, *10(1)*, 281–284.
- Soto, G., & Meléndez, G. (2004). Cómo medir la calidad de los abonos orgánicos, (72), 91–97.
- Soto, G., & Muñoz, C. (2002). Consideraciones teóricas y prácticas sobre el compost, y su empleo en la agricultura orgánica. *Manejo Integrado de Plagas Y Agroecología (Costa Rica)*, 65, 123–129.
- Suarez, C., Villalba, R., Lopez, H. Restrepo, J., Ardila, E., Gualdrón, J., Zapata, E. (2008). Conservación y manejo sostenible del páramo de Berlín – unidad biogeográfica de Santurbán, mediante la declaratoria de un área de manejo especial. Corporación Autónoma de la Defensa de la Meseta de Bucaramanga. Disponible en: [http://mail.cdmb.gov.co/ciaga/documentosciaga4/dmi\\_berlin.pdf](http://mail.cdmb.gov.co/ciaga/documentosciaga4/dmi_berlin.pdf)
- Sullivan, D. M., & Miller, R. O. (2001). Compost Quality Attributes, Measurements, and Variability. In *Compost Utilization In Horticultural Cropping Systems*.
- Tchobanoglous, G., Theisen, H., & Vigil, S. (1994). *Gestión Integral de Residuos Sólidos*. Madrid: McGraw-Hill.
- Thomas, G. V., Palaniswami, C., Prabhu, S. R., Gopal, M., & Gupta, A. (2013). Co-composting of coconut coir pith with solid poultry manure. *Current Science*, 104(2), 245–250.
-

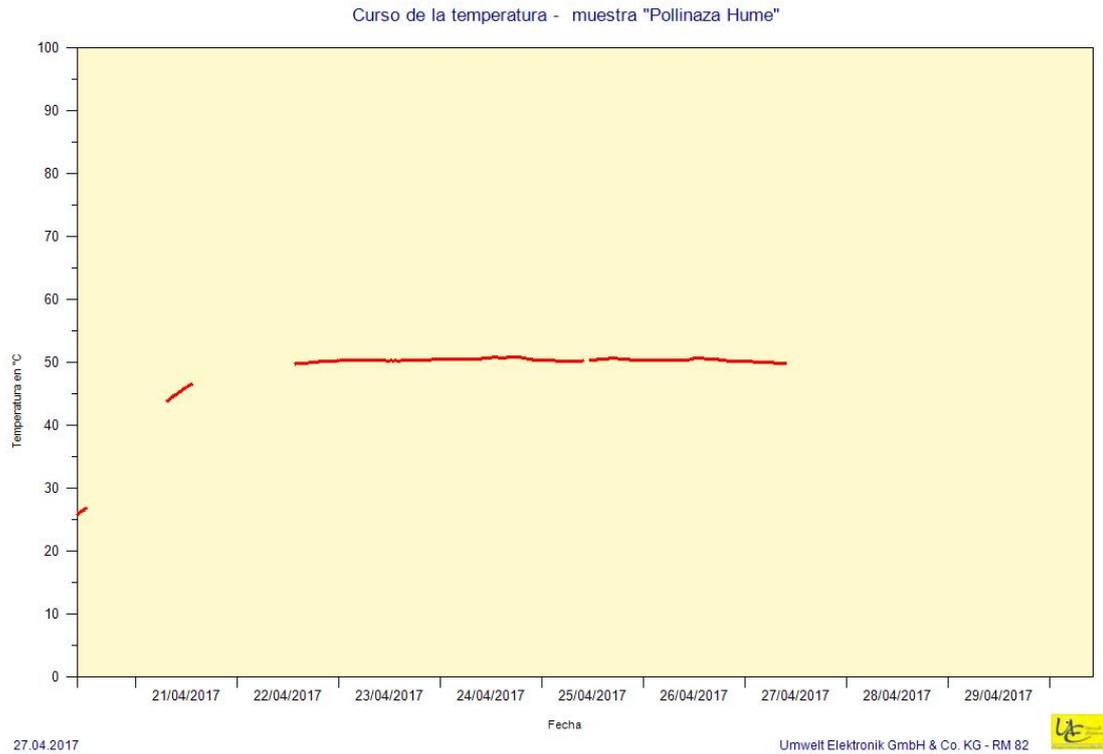
- 
- Tittarelli, F.; Petruzzelli, B.; Civilini, A.; Benedetti, A.; Sequi, P. (2007). Quality and agronomic use of compost. En: *Compost Science and Technology. Waste Management Series 8*. Editado por: Diaz, L.F.; de Bertoldi, M.; Bidlingmaier, W.; Stentiford, E., 49-65.
- Trautmann, N. M., & Krasny, M. E. (1997). *Composting in the Classroom - Scientific Inquiry for high school students*.
- Turan, N. G. (2008). The effects of natural zeolite on salinity level of poultry litter compost. *Bioresource Technology*, 99(7), 2097–2101. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.11.061>
- Ugwuanyi, J. O., Harvey, L. M., & McNeil, B. (2005). Effect of digestion temperature and pH on treatment efficiency and evolution of volatile fatty acids during thermophilic aerobic digestion of model high strength agricultural waste. *Bioresource Technology*, 96(6), 707–719. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.06.027>
- Varnero, M. T., Rojas, C., & Orellana, R. (2007). Índices de Fitotoxicidad de residuos orgánicos durante el compostaje. *Revista Ciencia Del Suelo Y Nutrición Vegetal*, 7(1), 28–37. <https://doi.org/10.4067/S0718-27912007000100003>
- Yang, F., Li, G., Shi, H., & Wang, Y. (2015). Effects of phosphogypsum and superphosphate on compost maturity and gaseous emissions during kitchen waste composting. *Waste Management*, 36, 70–76. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.11.012>
- Young, B. J., Rizzo, P. F., Riera, N. I., Torre, V. Della, López, V. A., Molina, C. D., ... Sánchez, A. (2016). Development of phytotoxicity indexes and their correlation with ecotoxicological, stability and physicochemical parameters during passive composting of poultry manure. *Waste Management*, 54, 101–109. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.05.001>
- Zhang, L., & Sun, X. (2016). Influence of bulking agents on physical, chemical, and microbiological properties during the two-stage composting of green waste. *Waste Management*, 48, 115–126. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.11.032>

---

# **ANEXOS**

---

## Anexo A. Prueba de estabilidad realizada a la pollinaza con el equipo RM 82



Temperature Rise Above Ambient in C	Official Class of Stability	Descriptors of Class or Group	Major Group
0 --10 <sup>o</sup>	V	Very stable, well-aged compost	Finished Compost
10 --20 <sup>o</sup>	IV	Moderately stable; curing compost	
20 --30 <sup>o</sup>	III	Material still decomposing; active compost	Active Compost
30 --40 <sup>o</sup>	II	Immature, young or very active compost	
40 -50 <sup>o</sup> (or more)	I	Fresh, raw compost, just mixed ingredients	Fresh Compost

## RM 82 - Protocolo de ensayo

### Determinación del Grado de Degradación

Equipo de prueba: RottegradMesssystem RM 82  
Fabricante: Umwelt Elektronik GmbH & Co. KG  
Serie numero: 1100  
Messfühler-No. | Messkanal: ./ | Kanal 1

Responsable a cargo: .....  
Auftragsnummer: .....  
Toma de muestra en: 29/03/2017  
Muestra recibida: 30/03/2017

Nombre de la muestra: Pollinaza Hume  
Inicio de registro de datos: 20/04/2017 10:15:27 a.m.  
Finalizar el registro de datos: 27/04/2017 10:05:27 a.m.  
Abbruch durch Benutzer

Temperatura máxima: 50,9°C  
alcanzado después de: 4 d, 6 h + 24 min.

Resultado: **Grado de Degradación III**

Guardar ruta: C:\RM82\2017\Pollinaza Hume.xls

Lugar: ..... Fecha: 27/04/2017

.....  
Firma del Auditor:



Umwelt Elektronik GmbH & Co. KG  
Ingenieurgesellschaft  
Seitenstraße 47  
D-73312 GEISLINGEN

<http://www.umwelt-elektronik.de/>

## Anexo B. Descripción de estudios realizados a procesos de compostaje con residuos agrícolas

Autor	Tipo de residuos	Descripción
Acosta, Peralta (2015)	Plantas de Tomate, porquinaza, bovinaza y pasto estrella.	El montaje a escala de laboratorio constó de seis tratamientos, donde la materia prima predominante fue el estiércol ya sea bovinaza, gallinaza, pollinaza y porquinaza. Materias primas adicionales son las plantas de tomate, cáscaras de huevo, plátano y residuos de hortaliza. Se adicionó melaza diluida para favorecer la multiplicación y la activación microbiológica. Se hizo control y seguimiento de las pilas cada tres días identificando la temperatura, pH y humedad. Se observa que la población de hongos presenta una tendencia al descenso posterior al haber iniciado el proceso de compostaje hasta llegar a una estabilización al final del proceso. Los tratamientos que mejores parámetros de calidad físicos, químicos y biológicos presentaron, fueron aquellos que contenían (porquinaza + bovinaza) y (gallinaza + porquinaza).
Adhikari et al. (2008)	Residuos de alimentos y agentes de carga	Los agentes disponibles en la región fueron: picado del heno, picada de paja de trigo, virutas de madera de pino, cartón en bruto. La muestra se homogenizó mezclando manualmente. El cartón fue probado como posible agente de aumento de volumen, debido a su amplio uso como embalaje y su recuperación abundante como material de reciclaje. Heno, paja y virutas de madera se caracterizan porque se utilizan comúnmente para el compostaje. Este proyecto midió la cantidad de residuos de alimentos producidos por los hogares y restaurantes. El compostaje de los residuos requeriría el ajuste mensual de la receta y el diseño de una instalación de compostaje lo suficientemente flexible para dar cabida a un volumen de material de fluctuante por tanto como 50%. Con agentes de carga, se encontró que la paja de trigo cortada y heno picado para ofrecer las mejores propiedades, con una alta capacidad de absorción de agua.
Neugebauer, M. y Sołowiej, P. (2017)	Residuos de cocina, residuos de jardín	En este determinaron si los desechos domésticos orgánicos podían ser compostados en huertos caseros. Los desperdicios de cocina fueron mezclados con desechos de jardín (agente de carga) en diferentes proporciones. Los residuos de biodegradables se compostaron en dos sistemas: en un pozo cavado en el suelo y en un contenedor. La temperatura dentro de la pila, las emisiones de amoníaco y el contenido de humedad fueron monitoreados durante todo el experimento. La temperatura más alta se alcanzó en pilas compuestas de 40% de residuos de cocina y 50% de residuos de jardinería. Las emisiones de amoníaco son las causantes de olores característicos y desagradables que se produce cuando la pila compostada no se maneja adecuadamente. las emisiones de amoníaco acumuladas más altas se observaron en pilas de pozo y contenedores que no contenían agentes de carga.
Rawoteea et al. (2017)	Residuos vegetales y cartón	Se utilizó un compostador experimental de la capacidad 80L. Se definieron tres mezclas, la mezcla 1 (Mix 1) consistían en bagazo, raíz de remolacha, repollo, hojas secas y 2Kg de papel. La segunda mezcla (Mix 2) contenía bagazo, raíz de remolacha, repollo y 1.5Kg de cartón. La tercera mezcla (Mix 3) contenía bagazo, raíz de remolacha, repollo y 4.5Kg de cartón. La evolución de la temperatura, las tendencias de pH, los niveles de humedad, las tasas de respiración, el porcentaje de sólidos volátiles y la conductividad eléctrica fueron controlados durante 50 días. El sistema se mantuvo en condiciones termófilas para un periodo corto debido al pequeño tamaño del reactor. las tres mezclas no superaron una temperatura de 55°C, donde la desinfección se lleva a cabo por la destrucción de patógenos. El pico más alto de dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) se observa en la mezcla 2 (Mix 2) indicando que la degradación microbiana máxima tuvo lugar en estas muestras.

## Anexo C. Informe de resultados de las muestras de pollinaza y residuos de cebolla con diferentes periodos de degradación

	<b>LABORATORIO QUÍMICO DE CONSULTAS INDUSTRIALES</b>	<b>Código:</b> F-PA-02	
	<b>POST-ANALITICO</b>	<b>Versión:</b> 05	
	<b>INFORME DE RESULTADOS</b>	<b>Fecha:</b> 2012/01/16	
		<b>Página</b> 1 de 6	



\*Acreditación por el IDEAM según la Resolución No. 1111 de 2015, en los parámetros pH, DBO<sub>5</sub>, DQO, SST, fenoles, SAAM, grasas y aceites en aguas, metales totales y disueltos en aguas, metales totales en suelos y toma de muestras puntuales y compuestas\*



\*Autorización del Ministerio de la Protección Social, mediante la resolución 1615 del 2015 para la realización de análisis físicos, químicos y microbiológicos al agua para consumo humano\*

<b>Informe de resultados No.</b>	I-17-170	<b>Fecha de emisión:</b>	Abril 17 de 2017
<b>Cliente:</b>	EDGAR RICARDO OVIEDO OCAÑA		
<b>Dirección del cliente:</b>	Escuela Ingeniería Civil - UIS		
<b>Solicitud de servicio No.</b>	17-137	<b>No. de muestras:</b>	04
<b>Fecha de recepción de las muestras:</b>	Marzo 30 de 2017		
<b>Muestras recibidas por:</b>	Amparo López		
<b>Fecha de análisis:</b>	Marzo 30 de 2017 – Abril 12 de 2017		

### 1. ANALISIS FISICOQUIMICO

<b>Codificación de la Muestra:</b>	17-137-01	<b>Tipo de muestra:</b>	Compuesta
<b>Identificación de la muestra:</b>	MUESTRA 1 RESIDUOS DE 1 DIA CEBOLLA JUNCA		
<b>Matriz de la muestra:</b>	Residuos Cebolla Junca		
<b>Muestreo realizado por:</b>	El Cliente		
<b>Lugar y punto de muestreo:</b>	Páramo de Berlín		
<b>Fecha del muestreo:</b>	Marzo 29 de 2017		

PARÁMETRO	RESULTADO	MÉTODO/ NORMA
pH Unidades de pH)	4,84	Potenciométrico/NTC 5167
Humedad (%)	76,92	Gravimétrico/NTC 5167
Carbono Orgánico Total Oxidable (%C)	2,31	Espectrofotométrico/NTC 5167
Nitrógeno Total (%N)	1,88	Titrimétrico –Kjeldahl/NTC 370
Cenizas (%)	3,93	Gravimétrico/NTC 5167
Potasio (%K <sub>2</sub> O)	0,08	Absorción Atómica/NTC 5167
Fósforo Total (%P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	0,17	Espectrofotométrico/NTC 5167
Conductividad (ms/Cm)	405	Conductivimétrico/NTC 5167
Sodio (%Na)	3,06	Absorción Atómica/ NTC 5167
Calcio (%CaO)	0,10	Absorción Atómica/ NTC 5167

Ciudad Universitaria Carrera 27 Calle 9 – Edificio Camilo Torres/ Laboratorio 222  
 Conmutador: (7) 6344000 Ext. 2463, 1469 ,2465. Telefax: (7) 6349009  
 Página web: <http://ciencias.uis.edu.co/lqci/> E-mail: [labquimco@gmail.com](mailto:labquimco@gmail.com); [labquimco@uis.edu.co](mailto:labquimco@uis.edu.co)  
 Bucaramanga - Colombia.

	<b>LABORATORIO QUÍMICO DE CONSULTAS INDUSTRIALES</b>	<b>Código:</b> F-PA-02	
	<b>POST-ANALITICO</b>	<b>Versión:</b> 05	
	<b>INFORME DE RESULTADOS</b>	<b>Fecha:</b> 2012/01/16 Página 2 de 6	

Informe de resultados No. I-17-170

Solicitud de servicio No. 17-137

## 2. ANALISIS FISICOQUIMICO

<b>Codificación de la Muestra:</b> 17-137-02	<b>Tipo de muestra:</b> Compuesta
<b>Identificación de la muestra:</b> MUESTRA 2 RESIDUOS DE 8 DÍAS DE CEBOLLA JUNCA	
<b>Matriz de la muestra:</b> Residuos Cebolla Junca	
<b>Muestreo realizado por:</b> El Cliente	
<b>Lugar y punto de muestreo:</b> Páramo de Berlín	
<b>Fecha del muestreo:</b> Marzo 29 de 2017	

PARÁMETRO	RESULTADO	MÉTODO/ NORMA
pH (Unidades de pH)	7,56	Potenciométrico/NTC 5167
Humedad (%)	65,84	Gravimétrico/NTC 5167
Carbono Orgánico Total Oxidable (%C)	4,85	Espectrofotométrico/NTC 5167
Nitrógeno Total (%N)	1,87	Titrimétrico -Kjeldahl/NTC 370
Cenizas (%)	9,03	Gravimétrico/NTC 5167
Potasio(%K <sub>2</sub> O)	0,15	Absorción Atómica/NTC 5167
Fósforo Total (%P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	0,29	Espectrofotométrico/NTC 5167
Conductividad (ms/Cm)	909	Conductivimétrico/NTC 5167
Sodio (%Na)	0,021	Absorción Atómica/ NTC 5167
Calcio (%CaO)	0,55	Absorción Atómica/ NTC 5167

Ciudad Universitaria Carrera 27 Calle 9 – Edificio Camilo Torres/ Laboratorio 222  
 Conmutador: (7) 6344000 Ext. 2463, 1469, 2465. Telefax: (7) 6349009  
 Página web: <http://ciencias.uis.edu.co/lqci/> E-mail: [labquimco@gmail.com](mailto:labquimco@gmail.com);  
[labquimco@uis.edu.co](mailto:labquimco@uis.edu.co)  
 Bucaramanga - Colombia

	<b>LABORATORIO QUÍMICO DE CONSULTAS INDUSTRIALES</b>	Código: F-PA-02	
	<b>POST-ANALITICO</b>	Versión: 05	
	<b>INFORME DE RESULTADOS</b>	Fecha: 2012/01/16	
		Página 3 de 6	

Informe de resultados No. I-17-170

Solicitud de servicio No. 17-137

### 3. ANALISIS FISICOQUIMICO

Codificación de la Muestra:	17-137-03	Tipo de muestra:	Compuesta
Identificación de la muestra:	MUESTRA 3 RESIDUOS DE 4 MESES (SUPERFICIAL) DE CEBOLLA JUNCA		
Matriz de la muestra:	Residuos Cebolla Junca		
Muestreo realizado por:	El Cliente		
Lugar y punto de muestreo:	Páramo de Berlín		
Fecha del muestreo:	Marzo 29 de 2017		

PARÁMETRO	RESULTADO	MÉTODO/ NORMA
pH (Unidades de pH)	7,65	Potenciométrico/NTC 5167
Humedad (%)	55,68	Gravimetric/NTC 5167
Carbono Orgánico Total Oxidable (%C)	2,38	Espectrofotométrico/NTC 5167
Nitrógeno Total (%N)	1,79	Titrimétrico -Kjeldahl/NTC 370
Cenizas (%)	11,82	Gravimétrico/NTC 5167
Potasio (%K <sub>2</sub> O)	0,17	Absorción Atómica/NTC 5167
Fósforo Total (%P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	0,41	Espectrofotométrico/NTC 5167
Conductividad (ms/Cm)	392	Conductivimétrico/NTC 5167
Sodio (%Na)	9,9	Absorción Atómica/ NTC 5167
Calcio (%CaO)	2,78	Absorción Atómica/ NTC 5167

Ciudad Universitaria Carrera 27 Calle 9 – Edificio Camilo Torres/ Laboratorio 222  
 Conmutador: (7) 6344000 Ext. 2463, 1469, 2465. Telefax: (7) 6349009  
 Página web: <http://ciencias.uis.edu.co/lqci/> E-mail: [labquimco@gmail.com](mailto:labquimco@gmail.com);  
[labquimco@uis.edu.co](mailto:labquimco@uis.edu.co)  
 Bucaramanga - Colombia

	<b>LABORATORIO QUÍMICO DE CONSULTAS INDUSTRIALES</b>	<b>Código:</b> F-PA-02	
	<b>POST-ANALITICO</b>	<b>Versión:</b> 05	
	<b>INFORME DE RESULTADOS</b>	<b>Fecha:</b> 2012/01/16	
		Página 4 de 6	

Informe de resultados No. I-17-170 Solicitud de servicio No. 17-137

#### 4. ANALISIS FISICOQUIMICO

<b>Codificación de la Muestra:</b> 17-137-04	<b>Tipo de muestra:</b> Compuesta
<b>Identificación de la muestra:</b> MUESTRA 4 RESIDUOS DE 4 MESES (ENTERRADA) DE CEBOLLA JUNCA	
<b>Matriz de la muestra:</b> Residuos de Cebolla Junca	
<b>Muestreo realizado por:</b> El Cliente	
<b>Lugar y punto de muestreo:</b> Paramo de Berín	
<b>Fecha del muestreo:</b> Marzo 29 de 2017	

PARÁMETRO	RESULTADO	MÉTODO/ NORMA
pH (Unidades de pH)	5,10	Potenciométrico/NTC 5167
Humedad (%)	62,49	Gravimetric/NTC 5167
Carbono Orgánico Total Oxidable (%C)	4,07	Espectrofotométrico/NTC 5167
Nitrógeno Total (%N)	1,92	Titrimétrico -Kjeldahl/NTC 370
Cenizas (%)	8,56	Gravimétrico/NTC 5167
Potasio (%K <sub>2</sub> O)	0,14	Absorción Atómica/NTC 5167
Fósforo Total (%P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	0,26	Espectrofotométrico/NTC 5167
Conductividad (ms/Cm)	1399	Conductivimétrico/NTC 5167
Sodio (%Na)	3,65	Absorción Atómica/ NTC 5167
Calcio (%CaO)	0,34	Absorción Atómica/ NTC 5167

Ciudad Universitaria Carrera 27 Calle 9 – Edificio Camilo Torres/ Laboratorio 222  
 Conmutador: (7) 6344000 Ext. 2463, 1469, 2465. Telefax: (7) 6349009  
 Página web: <http://ciencias.uis.edu.co/ceci/> E-mail: [labquimco@gmail.com](mailto:labquimco@gmail.com);  
[labquimco@uis.edu.co](mailto:labquimco@uis.edu.co)  
 Bucaramanga - Colombia

	<b>LABORATORIO QUÍMICO DE CONSULTAS INDUSTRIALES</b>	<b>Código:</b> F-PA-02	
	<b>POST-ANALITICO</b>	<b>Versión:</b> 05	
	<b>INFORME DE RESULTADOS</b>	<b>Fecha:</b> 2012/01/16 Página 5 de 6	

Informe de resultados No. I-17-170 Solicitud de servicio No. 17-137

### 5. ANALISIS FISICOQUIMICO

<b>Codificación de la Muestra:</b> 17-137-05	<b>Tipo de muestra:</b> Compuesta
<b>Identificación de la muestra:</b> MUESTRA 5 POLLINAZA	
<b>Matriz de la muestra:</b> Residuos de Pollinaza	
<b>Muestreo realizado por:</b> El Cliente	
<b>Lugar y punto de muestreo:</b> Paramo de Berlín	
<b>Fecha del muestreo:</b> Marzo 29 de 2017	

PARÁMETRO	RESULTADO	MÉTODO/ NORMA
pH (Unidades de pH)	8,71	Potenciométrico/NTC 5167
Humedad (%)	24,54	Gravimetric/NTC 5167
Carbono Orgánico Total Oxidable (%C)	11,88	Espectrofotométrico/NTC 5167
Nitrógeno Total (%N)	2,03	Titrimétrico -Kjeldhal/NTC 370
Cenizas (%)	15,60	Gravimétrico/NTC 5167
Potasio (%K <sub>2</sub> O)	1,60	Absorción Atómica/NTC 5167
Fósforo Total (%P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	1,06	Espectrofotométrico/NTC 5167
Conductividad (ms/Cm)	6,34	Conductivimétrico/NTC 5167
Sodio (%Na)	0,30	Absorción Atómica/ NTC 5167
Calcio (%CaO)	1,47	Absorción Atómica/ NTC 5167

Ciudad Universitaria Carrera 27 Calle 9 – Edificio Camilo Torres/ Laboratorio 222  
 Conmutador: (7) 6344000 Ext. 2463, 1469, 2465. Telefax: (7) 6349009  
 Página web: <http://ciencias.uis.edu.co/lqci/> E-mail: [labquimco@gmail.com](mailto:labquimco@gmail.com);  
[labquimco@uis.edu.co](mailto:labquimco@uis.edu.co)  
 Bucaramanga - Colombia

	LABORATORIO QUÍMICO DE CONSULTAS INDUSTRIALES	Código: F-PA-02	
	POST-ANALÍTICO	Versión: 05	
	INFORME DE RESULTADOS	Fecha: 2012/01/16 Página 6 de 6	

Informe de resultados No. I-17-170 Solicitud de servicio No. 17-137

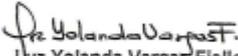
Observaciones: *Ninguna*

Nota 1: Estos resultados son válidos únicamente para las muestras analizadas y reportadas por el laboratorio.

Nota 2: En caso de ser copia del resultado original se realizará la siguiente aclaración: Copia del resultado original.

**Estimado cliente:** Para nosotros es muy importante conocer sus inquietudes, sugerencias, felicitaciones, quejas y/o reclamos en los servicios prestados por el laboratorio, con el propósito de mejorar nuestros servicios. Le agradecemos que se comunique con el laboratorio, donde un miembro del personal amablemente recibirá su solicitud y pronto estaremos en comunicación con usted para aclarar y/o resolver su requerimiento.

Revisó y aprobó:

  
 Luz Yolanda Vargas Fiallo  
 Directora del Laboratorio  
 Química. M.Sc Química UIS  
 MP PQ 1144

Elaboró: Amparo López Guerrero

**Anexo D. Informe de resultados de las muestras de estiércol ovino fresco y antiguo, estiércol bovino fresco y antiguo, residuos orgánicos y residuos de papa.**

	<b>LABORATORIO QUÍMICO DE CONSULTAS INDUSTRIALES</b>	Código: F-PA-02	
	<b>POST-ANALITICO</b>	Versión: 05	
	<b>INFORME DE RESULTADOS</b>	Fecha: 2012/01/16	
		Página 1 de 4	



"Acreditación por el IDEAM según la Resolución No. 1111 de 2015, en los parámetros pH, DBO<sub>5</sub>, DQO, SST, fenoles, SAAM, grasas y aceites en aguas, metales totales y disueltos en aguas, metales totales en suelos y toma de muestras puntuales y compuestas"



"Autorización del Ministerio de la Protección Social, mediante la resolución 1615 del 2015 para la realización de análisis físicos, químicos y microbiológicos al agua para consumo humano"

Informe de resultados No.	I-17-283	Fecha de emisión:	Junio 09 de 2017
Cliente:	EDGAR RICARDO OVIEDO OCAÑA		
Dirección del cliente:	Escuela Ingeniería Civil - UIS		
Solicitud de servicio No.	17-217	No. de muestras:	06
Fecha de recepción de las muestras:	Mayo 18 de 2017		
Muestras recibidas por:	Amparo López		
Fecha de análisis:	Mayo 18 de 2017 - Junio 08 de 2017		

### 1. ANALISIS FISICOQUIMICO

Codificación de la Muestra:	17-217-01	Tipo de muestra:	Compuesta
Identificación de la muestra:	MUESTRA 1 RESIDUOS ESTIERCOL BOVINO FRESO		
Matriz de la muestra:	Residuos Estiércol Bovino Fresco		
Muestreo realizado por:	El Cliente		
Lugar y punto de muestreo:	Páramo de Berlín		
Fecha del muestreo:	Mayo 17 de 2017		

PARÁMETRO	RESULTADO	MÉTODO/ NORMA
pH Unidades de pH)	7,94	Potenciométrico/NTC 5167
Humedad (%)	83,50	Gravimétrico/NTC 5167
Carbono Orgánico Total Oxidable (%C)	4,09	Espectrofotométrico/NTC 5167
Nitrógeno Total (%N)	1,28	Titrimétrico -Kjeldahl/NTC 370

Ciudad Universitaria Carrera 27 Calle 9 – Edificio Camilo Torres/ Laboratorio 222  
 Conmutador: (7) 6344000 Ext. 2463, 1469 ,2465. Telefax: (7) 6349009  
 Página web: <http://ciencias.uis.edu.co/lqci/> E-mail: [labquimco@gmail.com](mailto:labquimco@gmail.com); [labquimco@uis.edu.co](mailto:labquimco@uis.edu.co)  
 Bucaramanga - Colombia

	<b>LABORATORIO QUÍMICO DE CONSULTAS INDUSTRIALES</b>	Código: F-PA-02	
	<b>POST-ANALITICO</b>	Versión: 05	
	<b>INFORME DE RESULTADOS</b>	Fecha: 2012/01/16 Página 2 de 4	

Informe de resultados No. I-17-283 Solicitud de servicio No. 17-217

## 2. ANALISIS FISICOQUIMICO

Codificación de la Muestra:	17-217-02	Tipo de muestra:	Compuesta
Identificación de la muestra:	<b>MUESTRA 2 RESIDUOS ESTIERCOL BOVINO ANTIGUO</b>		
Matriz de la muestra:	Residuos Estiércol Bovino Antiguo		
Muestreo realizado por:	El Cliente		
Lugar y punto de muestreo:	Páramo de Berlín		
Fecha del muestreo:	Mayo 17 de 2017		

PARÁMETRO	RESULTADO	MÉTODO/ NORMA
pH (Unidades de pH)	8,28	Potenciométrico/NTC 5167
Humedad (%)	78,48	Gravimétrico/NTC 5167
Carbono Orgánico Total Oxidable (%C)	4,30	Espectrofotométrico/NTC 5167
Nitrógeno Total (%N)	1,44	Titrimétrico -Kjeldahl/NTC 370

## 3. ANALISIS FISICOQUIMICO

Codificación de la Muestra:	17-217-03	Tipo de muestra:	Compuesta
Identificación de la muestra:	<b>MUESTRA 3 RESIDUOS ESTIERCOL OVINO FRESCO</b>		
Matriz de la muestra:	Residuos Estiércol Ovino Fresco		
Muestreo realizado por:	El Cliente		
Lugar y punto de muestreo:	Páramo de Berlín		
Fecha del muestreo:	Mayo 17 de 2017		

PARÁMETRO	RESULTADO	MÉTODO/ NORMA
pH (Unidades de pH)	8,33	Potenciométrico/NTC 5167
Humedad (%)	74,54	Gravimétrico/NTC 5167
Carbono Orgánico Total Oxidable (%C)	6,43	Espectrofotométrico/NTC 5167
Nitrógeno Total (%N)	1,11	Titrimétrico -Kjeldahl/NTC 370

Ciudad Universitaria Carrera 27 Calle 9 – Edificio Camilo Torres/ Laboratorio 222  
 Conmutador: (7) 6344000 Ext. 2463, 1469, 2465. Telefax: (7) 6349009  
 Página web: <http://ciencias.uis.edu.co/lqci/> E-mail: [labquimco@gmail.com](mailto:labquimco@gmail.com);  
[labquimco@uis.edu.co](mailto:labquimco@uis.edu.co)  
 Bucaramanga - Colombia

	<b>LABORATORIO QUIMICO DE CONSULTAS INDUSTRIALES</b>	Código: F-PA-02	
	<b>POST-ANALITICO</b>	Versión: 05	
	<b>INFORME DE RESULTADOS</b>	Fecha: 2012/01/16 Página 3 de 4	

Informe de resultados No. I-17-283 Solicitud de servicio No. 17-217

#### 4. ANALISIS FISICOQUIMICO

Codificación de la Muestra:	17-217-04	Tipo de muestra:	Compuesta
Identificación de la muestra:	MUESTRA 4 RESIDUOS ESTIERCOL OVINO ANTIGUO		
Matriz de la muestra:	Residuos Estiércol Ovino Antiguo		
Muestreo realizado por:	El Cliente		
Lugar y punto de muestreo:	Páramo de Berlín		
Fecha del muestreo:	Mayo 17 de 2017		

PARÁMETRO	RESULTADO	MÉTODO/ NORMA
pH (Unidades de pH)	8,65	Potenciométrico/NTC 5167
Humedad (%)	77,68	Gravimétrico/NTC 5167
Carbono Orgánico Total Oxidable (%C)	5,69	Espectrofotométrico/NTC 5167
Nitrógeno Total (%N)	1,37	Titrimétrico -Kjeldahl/NTC 370

#### 5. ANALISIS FISICOQUIMICO

Codificación de la Muestra:	17-137-05	Tipo de muestra:	Compuesta
Identificación de la muestra:	MUESTRA 5 RESIDUOS ORGANICOS		
Matriz de la muestra:	Residuos Orgánicos		
Muestreo realizado por:	El Cliente		
Lugar y punto de muestreo:	Páramo de Berlín		
Fecha del muestreo:	Mayo 17 de 2017		

PARÁMETRO	RESULTADO	MÉTODO/ NORMA
pH (Unidades de pH)	5,16	Potenciométrico/NTC 5167
Humedad (%)	80,40	Gravimétrico/NTC 5167
Carbono Orgánico Total Oxidable (%C)	3,62	Espectrofotométrico/NTC 5167
Nitrógeno Total (%N)	0,91	Titrimétrico -Kjeldahl/NTC 370

Ciudad Universitaria Carrera 27 Calle 9 – Edificio Camilo Torres/ Laboratorio 222  
 Conmutador: (7) 6344000 Ext. 2463, 1469, 2465. Telefax: (7) 6349009  
 Página web: <http://ciencias.uis.edu.co/lqci/> E-mail: [labquimco@gmail.com](mailto:labquimco@gmail.com);  
[labquimco@uis.edu.co](mailto:labquimco@uis.edu.co)  
 Bucaramanga - Colombia

	<b>LABORATORIO QUIMICO DE CONSULTAS INDUSTRIALES</b>	Código: F-PA-02	
	<b>POST-ANALITICO</b>	Versión: 05	
	<b>INFORME DE RESULTADOS</b>	Fecha: 2012/01/16 Página 4 de 4	

Informe de resultados No. I-17-283 Solicitud de servicio No. 17-217

## 6. ANALISIS FISICOQUIMICO

Codificación de la Muestra:	17-217-08	Tipo de muestra:	Compuesta
Identificación de la muestra:	MUESTRA 6 RESIDUOS DE PAPA		
Matriz de la muestra:	Residuos de Papa		
Muestreo realizado por:	El Cliente		
Lugar y punto de muestreo:	Páramo de Berlín		
Fecha del muestreo:	Mayo 17 de 2017		

PARÁMETRO	RESULTADO	MÉTODO/ NORMA
pH (Unidades de pH)	5,89	Potenciométrico/NTC 5167
Humedad (%)	74,36	Gravimétrico/NTC 5167
Carbono Orgánico Total Oxidable (%C)	6,35	Espectrofotométrico/NTC 5167
Nitrógeno Total (%N)	0,52	Titrimétrico -Kjeldahl/NTC 370

Observaciones: *Ninguna*

**Nota 1:** Estos resultados son válidos únicamente para las muestras analizadas y reportadas por el laboratorio.

**Nota 2:** En caso de ser copia del resultado original se realizará la siguiente aclaración: Copia del resultado original.

**Estimado cliente:** Para nosotros es muy importante conocer sus inquietudes, sugerencias, felicitaciones, quejas y/o reclamos en los servicios prestados por el laboratorio, con el propósito de mejorar nuestros servicios. Le agradecemos que se comunique con el laboratorio, donde un miembro del personal amablemente recibirá su solicitud y pronto estaremos en comunicación con usted para aclarar y/o resolver su requerimiento.

Revisó y aprobó:

**Luz Yolanda Vargas Fiallo**  
Directora del Laboratorio  
Química. M.Sc Química UIS  
MP PQ 1144

*Elaboró: Amparo López Guerrero*

Ciudad Universitaria Carrera 27 Calle 9 – Edificio Camilo Torres/ Laboratorio 222  
Conmutador: (7) 6344000 Ext. 2463, 1469, 2465. Telefax: (7) 6349009  
Página web: <http://ciencias.uis.edu.co/lqci/> E-mail: [labquimco@gmail.com](mailto:labquimco@gmail.com);  
[labquimco@uis.edu.co](mailto:labquimco@uis.edu.co)  
Bucaramanga - Colombia

### Anexo E. Balance de masa realizado con valores teóricos

En el compostaje, cuando se van a mezclar dos materiales o más, es necesario conocer las proporciones de material que se deben usar teniendo en cuenta parámetros iniciales como humedad y relación C/N. Trautmann & Krasny (Trautmann & Krasny, 1997) proponen las siguientes ecuaciones:

Para humedad:

$$G = \frac{(W_1 \times M_1) + (W_2 \times M_2) + (W_3 \times M_3) + \dots}{W_1 + W_2 + W_3 + \dots}$$

En donde:

$G$  = Humedad deseada (%)

$W_n$  = Masa del material n (Peso húmedo)

$M_n$  = Porcentaje de humedad (%) del material n

Para contenido C/N

$$R = \frac{W_1 [C_1 \times (100 - M_1)] + W_2 [C_2 \times (100 - M_2)] + W_3 [C_3 \times (100 - M_3)] + \dots}{W_1 [N_1 \times (100 - M_1)] + W_2 [N_2 \times (100 - M_2)] + W_3 [N_3 \times (100 - M_3)] + \dots}$$

En donde:

$R$  = Relación C/N de la mezcla

$W_n$  = Masa del material n (Peso húmedo)

$C_n$  = Carbono (%) del material n

$N_n$  = Nitrógeno (%) del material n

$M_n$  = Porcentaje de humedad (%) del material n

Parámetros	Pollinaza	Residuos orgánicos (E. R. Oviedo- Ocaña et al., 2017)	Aserrín (Petric et al., 2012)	Cebolla 8 días
pH	8,71	7,90	5,31	7,56
Humedad (%)	24,54	76,70	10,03	65,84
COT (%)	15,74	32,50	55,50	14,20
NT (%)	2,03	1,24	0,28	1,87
C/N	7,76	26,20	198,21	7,59

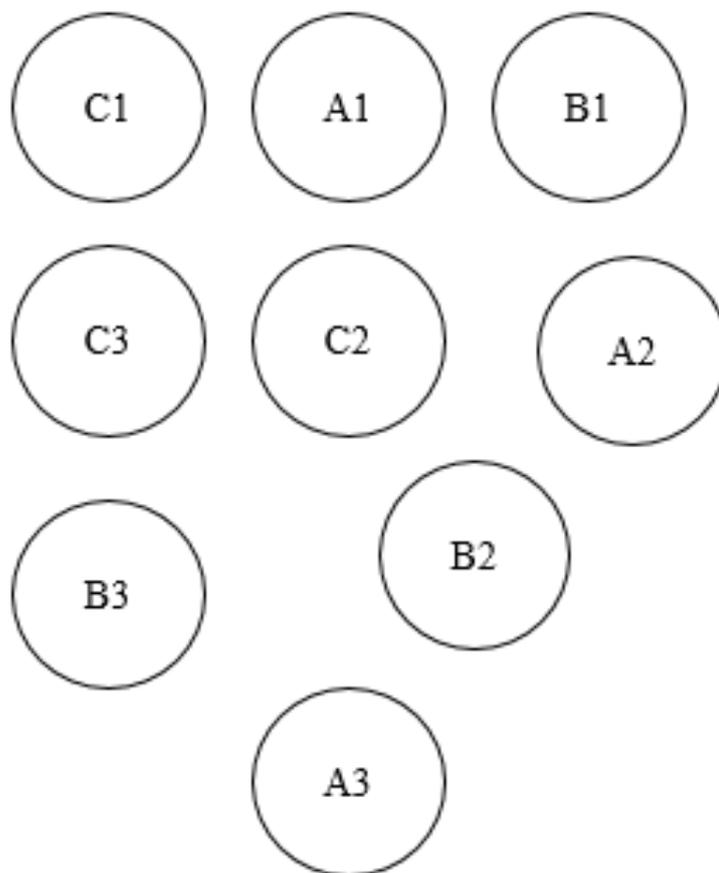
Condiciones iniciales TRATAMIENTO A	
<b>Pollinaza + R. orgánicos + Aserrín</b>	
Humedad	43,81
C/N	20,45
Masa Pollinaza [Kg]	43,10
Masa R. orgánicos [Kg]	42,00
Masa Aserrín [Kg]	16,30
Peso total [Kg]	101,40
Condiciones iniciales TRATAMIENTO B	
<b>Pollinaza + Cebolla + Aserrín</b>	

Humedad	35,38
C/N	12,76
Masa Pollinaza [Kg]	52,60
Masa R. Cebolla [Kg]	32,30
Masa Aserrín [Kg]	16,30
Peso total [Kg]	101,20
Condiciones iniciales TRATAMIENTO C	
<b>Cebolla + Aserrín</b>	
Humedad	49,26
C/N	18,94
Masa R. Cebolla [Kg]	71,20

Masa Aserrín [Kg]	30,00
Peso total [Kg]	101,20

---

**Anexo F. Disposición de las pilas en el área experimental**



**Anexo G. Planillas de registros del monitoreo de las pilas**

**"EVALUACIÓN DEL COMPOSTAJE DE MATERIALES DE ENMIENDA Y DE LOS RESIDUOS PROVENIENTES DEL CULTIVO DE LA CEBOLLA JUNCA EN EL PÁRAMO DE BERLÍN, SANTANDER"**

**Fecha:** 02-jun-17      **Pila:** A1      **Composición:** Residuos orgánicos, pollinaza y aserrín.      **Peso:** 101 Kg  
**Responsable:** Angélica Hernández      **Hora de montaje:** 10:40 am

Fecha	Día proceso	TA (°C)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	T5 (°C)	pH	Humedad (%)	Agua adicionada (L)	Concentración de Oxígeno (%)	CE (mS/cm)	Volteo
2-jun-17	0	16	25	19	20	20	21	7,32	48,6	20	79	2,05	X
3-jun-17	1	15	28	20	22	27	27	8,38			1	2,23	X
4-jun-17	2	11	41										
5-jun-17	3	10	50	43	47	47	54						X
6-jun-17	4	4	53	35	40	42	43	8,78	53,93			3,25	
7-jun-17	5	8	48	30	27	30	32			12	20		X
8-jun-17	6	7	56	39	41	43	40						
9-jun-17	7	10	48	34	30	34	28				24		X
10-jun-17	8	9	48	36	35	44	36	9,17				2,82	
11-jun-17	9	7,5	52	-	-	-	-						
12-jun-17	10	10	55	35	28	25	24						
13-jun-17	11	10	47	29	28	28	26						
14-jun-17	12	16	46	28	30	40	35			8			X
15-jun-17	13	13	38	25	27	23	32	8,91	60,23			2,77	
16-jun-17	14	10	52	38	35	43	44						X
17-jun-17	15	7	51	36	35	34	36						
18-jun-17	16	15	53	-	-	-	-						
19-jun-17	17	9	55	34	30	38	35						
20-jun-17	18	18	43	30	25	26	26						
21-jun-17	19	17	29	26	24	21	20			8	71		X
22-jun-17	20	9	31	24	23	20	23	9,02	60,78			2,75	
23-jun-17	21	12	34	23	20	20	20						
24-jun-17	22	7	35	23	19	18	21						
25-jun-17	23	12	35										
26-jun-17	24	11	32	25	26	25	27						
27-jun-17	25	5	28	20	18	19	21	8,96	53,68			2,54	
28-jun-17	26	15	28	15	18	20	20				80		
29-jun-17	27	10	16										X
30-jun-17	28	12	26	18	15	15	15				79		
1-jul-17	29	9	22	17	20	19	20						

Fecha	Día proceso	TA (°C)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	T5 (°C)	pH	Humedad (%)	Agua adicionada (L)	Concentración de Oxígeno (%)	CE (mS/cm)	Volteo
2-jul-17	30	11	21										
3-jul-17	31	9,5	22										
4-jul-17	32	8	22	18	14	19	15			8	83		X
5-jul-17	33	8	19	15	14	14	14						
6-jul-17	34	6	21	13	15	12	12						
7-jul-17	35	10	18	13	14	15	12						
8-jul-17	36	9	19	15	15	14	15		59,88				
9-jul-17	37	9	20										
10-jul-17	38	5	19	14	13	13	14						
11-jul-17	39	6	18	14	14	13	11	9,31	42,99			2,18	
12-jul-17	40	5	19	13	12	12	14						
13-jul-17	41	11	18	13	11	13	13			8	88		X
14-jul-17	42	9	17	12	11	11	11						
15-jul-17	43	10	16	14	13	12	13						
16-jul-17	44	12	17										
17-jul-17	45	8	18	13	12	12	13						
18-jul-17	46	5	17	12	13	12	11	9,91				4,5	
19-jul-17	47	11	17	12	12	13	12				90		
20-jul-17	48	10	17	12	12	12	13						
21-jul-17	49	11	16	11	11	12	11						
22-jul-17	50	5	17	12	12	11	12						
23-jul-17	51	6	17										
24-jul-17	52	6	17										
25-jul-17	53	4	16										
26-jul-17	54	8	17										
27-jul-17	55	11	15	9	10	10	9			8			X
28-jul-17	56	9	15	10	11	11	10						
29-jul-17	57	5	15	10	10	9	10						
30-jul-17	58	9	15										
31-jul-17	59	6	16										
1-ago-17	60	8	14										
2-ago-17	61	8	15										
3-ago-17	62	10	16										
4-ago-17	63	9	15										
5-ago-17	64	6	15										
6-ago-17	65	10	16										
7-ago-17	66	9	16										
8-ago-17	67	11	16										
9-ago-17	68	9	15										
10-ago-17	69	11	14					8,79	56,6			4,47	

**"EVALUACIÓN DEL COMPOSTAJE DE MATERIALES DE ENMIENDA Y DE LOS RESIDUOS PROVENIENTES DEL CULTIVO DE LA CEBOLLA JUNCA EN EL PÁRAMO DE BERLÍN, SANTANDER"**

**Fecha:** 02-jun-17

**Pila:** A2

**Composición:**

*Residuos orgánicos, pollinaza y aserrín.*

**Peso:** 101 Kg

**Responsable:** Angélica Hernández

**Hora de montaje:** 1:20 pm

Fecha	Día proceso	TA (°C)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	T5 (°C)	pH	Humedad (%)	Agua adicionada (L)	Concentración de Oxígeno (%)	CE (mS/cm)	Volteo
2-jun-17	0	16	26	15	17	18	18			20	82		X
3-jun-17	1	15	28	25	30	25	30	8,45			20	3,03	X
4-jun-17	2	11	40										
5-jun-17	3	10	54	44	49	53	48						X
6-jun-17	4	4	58	45	40	44	39	8,59	50,89			3,98	
7-jun-17	5	8	54	37	38	37	37			12	25		X
8-jun-17	6	7	58	46	32	45	37						
9-jun-17	7	10	44	31	30	29	28						X
10-jun-17	8	9	48	36	36	38	37	8,95	62,86			3,13	
11-jun-17	9	7,5	53										
12-jun-17	10	10	57	30	28	33	34						
13-jun-17	11	10	54	30	32	33	33						
14-jun-17	12	16	54	44	44	29	37			8			X
15-jun-17	13	13	46	31	34	28	37						
16-jun-17	14	10	48	40	39	36	35						X
17-jun-17	15	7	47	33	30	32	34	8,36	55,9			2,75	
18-jun-17	16	15	51										
19-jun-17	17	9	54	36	37	34	36						
20-jun-17	18	18	47	33	31	32	33						
21-jun-17	19	17	40	32	33	26	30				53		
22-jun-17	20	9	35	33	28	26	29	9,32	61,02	8		2,6	X
23-jun-17	21	12	32	23	20	21	22						
24-jun-17	22	7	34	24	22	19	23						
25-jun-17	23	12	34										
26-jun-17	24	11	34	24	24	23	24						
27-jun-17	25	5	26	20	16	16	19						
28-jun-17	26	15	22	21	17	18	18				81		
29-jun-17	27	10	18					9,2	60,75			2,97	X
30-jun-17	28	12	20	18	17	18	17						
1-jul-17	29	9	25	18	16	17	15				91		
2-jul-17	30	11	22										
3-jul-17	31	9,5	24										
4-jul-17	32	8	26	19	18	18	16			8	89		X

Fecha	Día proceso	TA (°C)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	T5 (°C)	pH	Humedad (%)	Agua adicionada (L)	Concentración de Oxígeno (%)	CE (mS/cm)	Volteo
5-jul-17	33	8	21	15	15	14	13						
6-jul-17	34	6	20	14	17	16	15						
7-jul-17	35	10	22	17	16	17	18						
8-jul-17	36	9	24	17	18	18	17		60,26				
9-jul-17	37	9	22										
10-jul-17	38	5	24	18	17	18	16						
11-jul-17	39	6	22	17	17	17	16	9,12	38,77			5,09	
12-jul-17	40	5	22	18	16	15	16						
13-jul-17	41	11	20	13	12	13	14			8	85		X
14-jul-17	42	9	19	15	14	14	16						
15-jul-17	43	10	18	16	15	13	15						
16-jul-17	44	12	17										
17-jul-17	45	8	18	13	13	13	14						
18-jul-17	46	5	18	14	11	12	11	9,17				6,1	
19-jul-17	47	11	17	11	11	12	11				92		
20-jul-17	48	10	17	13	13	12	12						
21-jul-17	49	11	17	12	11	12	13						
22-jul-17	50	5	17	12	12	11	12						
23-jul-17	51	6	16										
24-jul-17	52	6	16										
25-jul-17	53	4	16										
26-jul-17	54	8	14										
27-jul-17	55	11	15	12	11	12	11			8	91		X
28-jul-17	56	9	15	11	10	9	10						
29-jul-17	57	5	15	12	11	12	10						
30-jul-17	58	9	15										
31-jul-17	59	6	16										
1-ago-17	60	8	15										
2-ago-17	61	8	15										
3-ago-17	62	10	16										
4-ago-17	63	9	16										
5-ago-17	64	6	15										
6-ago-17	65	10	14										
7-ago-17	66	9	15										
8-ago-17	67	11	15										
9-ago-17	68	9	15										
10-ago-17	69	11	14					9,11	53,8			4,05	

**"EVALUACIÓN DEL COMPOSTAJE DE MATERIALES DE ENMIENDA Y DE LOS RESIDUOS PROVENIENTES DEL CULTIVO DE LA CEBOLLA JUNCA EN EL PÁRAMO DE BERLÍN, SANTANDER"**

**Fecha:** 02-jun-17

**Pila:** A3

**Composición:**

*Residuos orgánicos, pollinaza y aserrín.*

**Peso:** 101 Kg

**Responsable:** Angélica Hernández

**Hora de montaje:** 12:20 pm

Fecha	Día proceso	TA (°C)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	T5 (°C)	pH	Humedad (%)	Agua adicionada (L)	Concentración de Oxígeno (%)	CE (mS/cm)	Volteo
2-jun-17	0	16	22	18	16	18	18			20	94		X
3-jun-17	1	15	28	23	24	23	23	8,39			48	2,87	
4-jun-17	2	11	52										
5-jun-17	3	10	58	51	51	53	50						X
6-jun-17	4	4	46	40	32	37	29	8,03	56,36			2,35	
7-jun-17	5	8	52	36	35	35	29			12	24		X
8-jun-17	6	7	56	36	38	40	33						
9-jun-17	7	10	41	22	30	29	30						X
10-jun-17	8	9	47	30	37	39	40	8,92				2,73	
11-jun-17	9	7,5	48										
12-jun-17	10	10	50	29	30	28	35						
13-jun-17	11	10	52	33	30	25	31	9,85				3,44	
14-jun-17	12	16	53	35	41	32	26			8			X
15-jun-17	13	13	41	27	23	37	38						
16-jun-17	14	10	52	29	28	35	40						
17-jun-17	15	7	54	44	40	7	42						
18-jun-17	16	15	53										
19-jun-17	17	9	52	33	31	31	32						
20-jun-17	18	18	41	28	28	29	30						
21-jun-17	19	17	32	24	24	28	22			8	58		X
22-jun-17	20	9	31	25	23	23	25	8,88	63,88			2,37	
23-jun-17	21	12	37	25	22	22	23						
24-jun-17	22	7	41	26	23	24	21						
25-jun-17	23	12	35										
26-jun-17	24	11	34	24	22	23	24						
27-jun-17	25	5	29	21	20	22	23						
28-jun-17	26	15	24	18	21	21	17				78		
29-jun-17	27	10	19					9,35	58,34			2,27	X
30-jun-17	28	12	26	17	16	17	17				80		
1-jul-17	29	9	24	16	15	14	16						
2-jul-17	30	11	22										
3-jul-17	31	9,5	22										
4-jul-17	32	8	22	18	15	16	16			8	83		X

Fecha	Día proceso	TA (°C)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	T5 (°C)	pH	Humedad (%)	Agua adicionada (L)	Concentración de Oxígeno (%)	CE (mS/cm)	Volteo
5-jul-17	33	8	17	12	13	14	14						
6-jul-17	34	6	19	14	13	13	15						
7-jul-17	35	10	20	15	14	15	14						
8-jul-17	36	9	20	14	13	15	14		63,15				
9-jul-17	37	9	17										
10-jul-17	38	5	19	14	13	14	13						
11-jul-17	39	6	18	14	14	13	11	9,09	41,74			2,09	
12-jul-17	40	5	20	13	14	12	12						
13-jul-17	41	11	18	14	12	13	12			8	97		X
14-jul-17	42	9	17	13	12	14	13						
15-jul-17	43	10	17	14	13	12	13						
16-jul-17	44	12	16										
17-jul-17	45	8	18	12	11	12	12						
18-jul-17	46	5	16	12	11	11	12	10,19				4,63	
19-jul-17	47	11	16	12	11	11	11						
20-jul-17	48	10	17	12	13	12	12				92		
21-jul-17	49	11	16	9	11	11	10						
22-jul-17	50	5	16	12	12	13	11						
23-jul-17	51	6	16										
24-jul-17	52	6	16										
25-jul-17	53	4	16										
26-jul-17	54	8	16										
27-jul-17	55	11	15	8	9	9	9			8			X
28-jul-17	56	9	15	10	9	8	9						
29-jul-17	57	5	16	11	10	10	10						
30-jul-17	58	9	16										
31-jul-17	59	6	16										
1-ago-17	60	8	16										
2-ago-17	61	8	16										
3-ago-17	62	10	15										
4-ago-17	63	9	16										
5-ago-17	64	6	15										
6-ago-17	65	10	15										
7-ago-17	66	9	16										
8-ago-17	67	11	16										
9-ago-17	68	9	16										
10-ago-17	69	11	15					8,83	58,00			5,17	

**"EVALUACIÓN DEL COMPOSTAJE DE MATERIALES DE ENMIENDA Y DE LOS RESIDUOS PROVENIENTES DEL CULTIVO DE LA CEBOLLA JUNCA EN EL PÁRAMO DE BERLÍN, SANTANDER"**

**Fecha:** 02-jun-17

**Pila:** B1

**Composición:**

*Residuos de cebolla, pollinaza y aserrín.*

**Peso:** 101 Kg

**Responsable:** Angélica Hernández

**Hora de montaje:** 11:10 am

Fecha	Día proceso	TA (°C)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	T5 (°C)	pH (°C)	Humedad (%)	Agua adicionada (L)	Concentración de Oxígeno (%)	CE (mS/cm)	Volteo
2-jun-17	0	16	27	20	19	14	17	8,96	36,9	26	92	3,61	X
3-jun-17	1	15	27	18	16	18	16	8,5			51	3,17	
4-jun-17	2	11	51										
5-jun-17	3	10	51	34	30	31	33						X
6-jun-17	4	4	58	44	49	50	50	8,43	52,17			3,03	
7-jun-17	5	8	44	25	30	30	29			16	43		X
8-jun-17	6	7	51	37	28	29	38						
9-jun-17	7	10	42	28	24	27	19				52		X
10-jun-17	8	9	50	34	34	33	30	9,32				3,19	
11-jun-17	9	7,5	51										
12-jun-17	10	10	51	32	28	26	26						
13-jun-17	11	10	42	30	27	27	28						
14-jun-17	12	16	38	22	28	22	22			8			X
15-jun-17	13	13	36	20	27	28	28						
16-jun-17	14	10	42	36	35	29	32						
17-jun-17	15	7	50	34	30	32	31	8,39				3,76	
18-jun-17	16	15	49										
19-jun-17	17	9	48	30	32	35	32						
20-jun-17	18	18	48	25	27	28	29						
21-jun-17	19	17	34	22	28	28	27			8	70		X
22-jun-17	20	9	28	22	23	22	24	8,96	58,65			2,84	
23-jun-17	21	12	36	24	23	25	25						
24-jun-17	22	7	38	26	25	28	24						
25-jun-17	23	12	35										
26-jun-17	24	11	33	25	27	24	28						
27-jun-17	25	5	34	24	25	25	26	8,73	53,24			2,81	
28-jun-17	26	15	24	20	22	21	18				83		
29-jun-17	27	10	18										X
30-jun-17	28	12	28	20	19	18	17				77		
1-jul-17	29	9	28	19	8	18	20						
2-jul-17	30	11	19										
3-jul-17	31	9,5	19										
4-jul-17	32	8	19	11	14	13	13			8	89		X
5-jul-17	33	8	18	13	12	13	12						

Fecha	Día proceso	TA (°C)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	T5 (°C)	pH (°C)	Humedad (%)	Agua adicionada (L)	Concentración de Oxígeno (%)	CE (mS/cm)	Volteo
6-jul-17	34	6	18	12	13	12	13						
7-jul-17	35	10	19	13	12	10	11						
8-jul-17	36	9	18	10	12	10	11		55,68				
9-jul-17	37	9	16										
10-jul-17	38	5	17	12	11	12	11						
11-jul-17	39	6	17	12	11	10	12	8,34	48,15			4,19	
12-jul-17	40	5	17	11	10	11	10						
13-jul-17	41	11	17	11	10	11	10			8	95		X
14-jul-17	42	9	15	11	10	10	10						
15-jul-17	43	10	15	10	11	10	10						
16-jul-17	44	12	15										
17-jul-17	45	8	15	10	11	11	10						
18-jul-17	46	5	16	10	11	11	10	8,7				6,47	
19-jul-17	47	11	15	11	11	10	9						
20-jul-17	48	10	16	9	11	12	11				94		
21-jul-17	49	11	17	12	11	12	12						
22-jul-17	50	5	17	11	12	12	11						
23-jul-17	51	6	16										
24-jul-17	52	6	16										
25-jul-17	53	4	15										
26-jul-17	54	8	15										
27-jul-17	55	11	16	12	12	12	11			8			X
28-jul-17	56	9	16	11	10	10	12						
29-jul-17	57	5	15	11	11	12	10						
30-jul-17	58	9	16										
31-jul-17	59	6	18										
1-ago-17	60	8	15										
2-ago-17	61	8	14										
3-ago-17	62	10	14										
4-ago-17	63	9	16										
5-ago-17	64	6	16										
6-ago-17	65	10	15										
7-ago-17	66	9	15										
8-ago-17	67	11	15										
9-ago-17	68	9	16										
10-ago-17	69	11	14					8,55	55,80			4,04	

**"EVALUACIÓN DEL COMPOSTAJE DE MATERIALES DE ENMIENDA Y DE LOS RESIDUOS PROVENIENTES DEL CULTIVO DE LA CEBOLLA JUNCA EN EL PÁRAMO DE BERLÍN, SANTANDER"**

**Fecha:** 02-jun-17      **Pila:** B2      **Composición:** Residuos de cebolla, pollinaza y aserrín.      **Peso:** 101 Kg  
**Responsable:** Angélica Hernández      **Hora de montaje:** 1:00 pm

Fecha	Día proceso	TA (°C)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	T5 (°C)	pH	Humedad (%)	Agua adicionada (L)	Concentración de Oxígeno (%)	CE (mS/cm)	Volteo
2-jun-17	0	16	27	22	25	24	25			26	76		X
3-jun-17	1	15	28	23	23	21	24	8,58			10	3,07	X
4-jun-17	2	11	46										
5-jun-17	3	10	60	46	46	46	44						X
6-jun-17	4	4	60	53	55	56	52	8,41	45,2			3,77	
7-jun-17	5	8	41	28	29	28	31			16	47		X
8-jun-17	6	7	58	37	33	35	40						
9-jun-17	7	10	34	21	23	28	25						X
10-jun-17	8	9	41	25	30	28	35	9,37	57,89			3,26	
11-jun-17	9	7,5	46										
12-jun-17	10	10	51	33	28	33	30						
13-jun-17	11	10	50	34	27	31	29						
14-jun-17	12	16	41	30	32	34	30			8			X
15-jun-17	13	13	46	25	27	40	38	8,86	62,53			4,01	
16-jun-17	14	10	47	34	30	35	36						
17-jun-17	15	7	46	33	34	34	32						
18-jun-17	16	15	45										
19-jun-17	17	9	44	31	27	30	29						
20-jun-17	18	18	44	30	28	27	30						
21-jun-17	19	17	33	28	21	24	22			8	68		X
22-jun-17	20	9	34	25	25	24	21	9,11	58			2,89	
23-jun-17	21	12	41	26	27	29	25						
24-jun-17	22	7	42	29	25	30	26						
25-jun-17	23	12	38										
26-jun-17	24	11	34	21	22	24	24						
27-jun-17	25	5	33	22	20	22	23						
28-jun-17	26	15	28	21	21	22	23				82		
29-jun-17	27	10	19					8,95	59,31			4,2	X
30-jun-17	28	12	28	18	19	19	18						
1-jul-17	29	9	30	20	19	19	18				86		
2-jul-17	30	11	20										
3-jul-17	31	9,5	21										
4-jul-17	32	8	22	15	15	15	15			8	89		X
5-jul-17	33	8	19	14	12	14	13						

Fecha	Día proceso	TA (°C)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	T5 (°C)	pH	Humedad (%)	Agua adicionada (L)	Concentración de Oxígeno (%)	CE (mS/cm)	Volteo
6-jul-17	34	6	19	15	16	15	14						
7-jul-17	35	10	19	14	13	15	14						
8-jul-17	36	9	20	14	15	14	15		56,05				
9-jul-17	37	9	17										
10-jul-17	38	5	18	12	12	14	15						
11-jul-17	39	6	17	12	12	13	12	8,72	34,06			2,51	
12-jul-17	40	5	16	11	12	11	10						
13-jul-17	41	11	17	10	9	11	10			8	93		X
14-jul-17	42	9	16	11	12	11	11						
15-jul-17	43	10	16	11	10	10	12						
16-jul-17	44	12	15										
17-jul-17	45	8	17	10	12	11	12						
18-jul-17	46	5	15	1	10	11	11	8,6				3,92	
19-jul-17	47	11	15	11	10	10	11				93		
20-jul-17	48	10	15	11	10	11	11						
21-jul-17	49	11	16	11	10	11	11						
22-jul-17	50	5	16	12	11	11	10						
23-jul-17	51	6	16										
24-jul-17	52	6	15										
25-jul-17	53	4	15										
26-jul-17	54	8	16										
27-jul-17	55	11	16	11	12	11	12			8			X
28-jul-17	56	9	14	10	11	12	12						
29-jul-17	57	5	16	11	10	9	11						
30-jul-17	58	9	15										
31-jul-17	59	6	17										
1-ago-17	60	8	15										
2-ago-17	61	8	16										
3-ago-17	62	10	15										
4-ago-17	63	9	15										
5-ago-17	64	6	15										
6-ago-17	65	10	16										
7-ago-17	66	9	15										
8-ago-17	67	11	14										
9-ago-17	68	9	14										
10-ago-17	69	11	14					8,76	52,5			5,42	

**"EVALUACIÓN DEL COMPOSTAJE DE MATERIALES DE ENMIENDA Y DE LOS RESIDUOS PROVENIENTES DEL CULTIVO DE LA CEBOLLA JUNCA EN EL PÁRAMO DE BERLÍN, SANTANDER"**

**Fecha:** 02-jun-17

**Pila:** B3

**Composición:**

*Residuos de cebolla, pollinaza y aserrín.*

**Peso:** 101 Kg

**Responsable:** Angélica Hernández

**Hora de montaje:** 12:40 pm

Fecha	Día proceso	TA (°C)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	T5 (°C)	pH	Humedad (%)	Agua adicionada (L)	Concentración de Oxígeno (%)	CE (mS/cm)	Volteo
2-jun-17	0	16	28	19	18	17	20			26	79		X
3-jun-17	1	15	36	20	22	21	23	8,35			25	3,59	X
4-jun-17	2	11	47										
5-jun-17	3	10	56	49	46	46	43						X
6-jun-17	4	4	58	41	53	52	54	8,35	51,05			3,61	
7-jun-17	5	8	57	39	43	39	39			16	25		X
8-jun-17	6	7	60	42	43	35	37						
9-jun-17	7	10	42	29	39	30	31						X
10-jun-17	8	9	50	37	36	34	37	9,22					
11-jun-17	9	7,5	51										
12-jun-17	10	10	53	35	34	31	30						
13-jun-17	11	10	55	35	33	37	32	9,77	52,29			3,9	
14-jun-17	12	16	56	30	39	36	35			8			X
15-jun-17	13	13	50	33	37	41	34						
16-jun-17	14	10	48	38	40	45	40						
17-jun-17	15	7	51	38	41	40	39						
18-jun-17	16	15	53										
19-jun-17	17	9	55	37	38	37	35						
20-jun-17	18	18	48	35	31	34	35						
21-jun-17	19	17	38	23	29	27	33				65		
22-jun-17	20	9	34	28	30	30	25	9,2	58,83	8		2,84	X
23-jun-17	21	12	31	24	25	24	26						
24-jun-17	22	7	36	28	29	25	29						
25-jun-17	23	12	35										
26-jun-17	24	11	34	24	25	26	27						
27-jun-17	25	5	33	24	23	24	22						
28-jun-17	26	15	28	24	21	23	21				80		
29-jun-17	27	10	16					9,03	52,88			3,43	X
30-jun-17	28	12	21										
1-jul-17	29	9	28	18	17	17	17				88		
2-jul-17	30	11	21										
3-jul-17	31	9,5	22										
4-jul-17	32	8	24	16	16	15	17			8	85		X

Fecha	Día proceso	TA (°C)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	T5 (°C)	pH	Humedad (%)	Agua adicionada (L)	Concentración de Oxígeno (%)	CE (mS/cm)	Volteo
5-jul-17	33	8	21	16	16	15	15						
6-jul-17	34	6	25	18	17	19	17						
7-jul-17	35	10	24	19	17	18	19						
8-jul-17	36	9	22	17	17	16	17		54,12				
9-jul-17	37	9	17										
10-jul-17	38	5	17	11	16	12	11						
11-jul-17	39	6	17	13	12	13	11	8,57	42,17			2,22	
12-jul-17	40	5	16	11	11	10	12						
13-jul-17	41	11	16	10	11	10	10			8	94		X
14-jul-17	42	9	16	10	11	11	11						
15-jul-17	43	10	15	11	11	11	11						
16-jul-17	44	12	16										
17-jul-17	45	8	15	10	10	10	10						
18-jul-17	46	5	15	11	10	10	11	8,55				4,85	
19-jul-17	47	11	15	9	9	10	10				93		
20-jul-17	48	10	15	10	9	10	9						
21-jul-17	49	11	15	9	11	10	11						
22-jul-17	50	5	16	10	11	11	10						
23-jul-17	51	6	16										
24-jul-17	52	6	15										
25-jul-17	53	4	14										
26-jul-17	54	8	15										
27-jul-17	55	11	15	9	10	10	10			8	97		X
28-jul-17	56	9	15	9	9	10	9						
29-jul-17	57	5	15	10	9	9	9						
30-jul-17	58	9	14										
31-jul-17	59	6	14										
1-ago-17	60	8	14										
2-ago-17	61	8	15										
3-ago-17	62	10	14										
4-ago-17	63	9	14										
5-ago-17	64	6	16										
6-ago-17	65	10	16										
7-ago-17	66	9	15										
8-ago-17	67	11	14										
9-ago-17	68	9	15										
10-ago-17	69	11	14					8,59	48,7			4,04	

**"EVALUACIÓN DEL COMPOSTAJE DE MATERIALES DE ENMIENDA Y DE LOS RESIDUOS PROVENIENTES DEL CULTIVO DE LA CEBOLLA JUNCA EN EL PÁRAMO DE BERLÍN, SANTANDER"**

**Fecha:** 02-jun-17

**Pila:** C1

**Composición:**

*Residuos de cebolla y aserrín.*

**Peso:** 101 Kg

**Responsable:** Angélica Hernández

**Hora de montaje:** 10:00 am

Fecha	Día proceso	TA (°C)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	T5 (°C)	pH	Humedad (%)	Agua adicionada (L)	Concentración de Oxígeno (%)	CE (mS/cm)	Volteo
2-jun-17	0	16	24	18	18	17	16	6,38	40,46		76	0,669	
3-jun-17	1	15	28	19	23	20	20	7,18		22	60	0,473	X
4-jun-17	2	11	27										
5-jun-17	3	10	30	21	20	21	21						X
6-jun-17	4	4	24	20	20	19	20	8,14	54,95			0,385	
7-jun-17	5	8	30	21	20	19	21			8	32		X
8-jun-17	6	7	27	20	19	25	20						
9-jun-17	7	10	22	18	14	16	18				70		X
10-jun-17	8	9	25	15	14	15	16	8,79				0,524	
11-jun-17	9	7,5	25										
12-jun-17	10	10	25	19	18	20	18						
13-jun-17	11	10	27	21	17	19	18						X
14-jun-17	12	16	28	17	22	22	23						
15-jun-17	13	13	36	21	18	19	19						
16-jun-17	14	10	27	15	19	19	18						
17-jun-17	15	7	27	24	20	21	20	8,13	49,28			0,456	
18-jun-17	16	15	29										
19-jun-17	17	9	31	22	19	17	19						
20-jun-17	18	18	30	20	19	19	20						
21-jun-17	19	17	24	15	17	17	16				78		
22-jun-17	20	9	21	16	17	15	16	9,25	55,68			0,393	
23-jun-17	21	12	19	15	14	13	15						
24-jun-17	22	7	18	14	13	15	14						
25-jun-17	23	12	18										
26-jun-17	24	11	19	13	12	11	13						
27-jun-17	25	5	18	11	10	12	11	8,61	51,78			0,403	
28-jun-17	26	15	18	12	14	13	12				88		
29-jun-17	27	10	16										X
30-jun-17	28	12	20	12	12	13	13				85		
1-jul-17	29	9	18	12	13	12	11						
2-jul-17	30	11	17										
3-jul-17	31	9,5	17										
4-jul-17	32	8	17	11	11	12	10				91		X
5-jul-17	33	8	17	12	10	10	11						

Fecha	Día proceso	TA (°C)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	T5 (°C)	pH	Humedad (%)	Agua adicionada (L)	Concentración de Oxígeno (%)	CE (mS/cm)	Volteo
6-jul-17	34	6	16	11	10	10	11						
7-jul-17	35	10	16	10	9	10	10						
8-jul-17	36	9	16	10	10	11	10		50,34				
9-jul-17	37	9	17										
10-jul-17	38	5	17	11	11	10	11						
11-jul-17	39	6	16	12	13	11	12	8,98	42,77			0,222	
12-jul-17	40	5	17	11	11	10	11						
13-jul-17	41	11	16	11	11	10	10			4	90		X
14-jul-17	42	9	15	10	11	12	12						
15-jul-17	43	10	16	11	10	11	11						
16-jul-17	44	12	14										
17-jul-17	45	8	16	11	10	10	11						
18-jul-17	46	5	16	10	11	11	11	9,41				0,171	
19-jul-17	47	11	16	10	10	11	11				91		
20-jul-17	48	10	15	10	10	11	10						
21-jul-17	49	11	15	9	9	10	10						
22-jul-17	50	5	16	11	10	11	11						
23-jul-17	51	6	16										
24-jul-17	52	6	16										
25-jul-17	53	4	15										
26-jul-17	54	8	16										
27-jul-17	55	11	15	10	10	10	10						X
28-jul-17	56	9	14	9	10	10	10						
29-jul-17	57	5	14	8	8	9	8						
30-jul-17	58	9	14										
31-jul-17	59	6	14										
1-ago-17	60	8	14										
2-ago-17	61	8	14										
3-ago-17	62	10	15										
4-ago-17	63	9	14										
5-ago-17	64	6	15										
6-ago-17	65	10	15										
7-ago-17	66	9	14										
8-ago-17	67	11	14										
9-ago-17	68	9	14										
10-ago-17	69	11	14					7,76	47,00			0,53	

**"EVALUACIÓN DEL COMPOSTAJE DE MATERIALES DE ENMIENDA Y DE LOS RESIDUOS PROVENIENTES DEL CULTIVO DE LA CEBOLLA JUNCA EN EL PÁRAMO DE BERLÍN, SANTANDER"**

**Fecha:** 02-jun-17

**Pila:** C2

**Composición:**

*Residuos de cebolla y aserrín.*

**Peso:** 101 Kg

**Responsable:** Angélica Hernández

**Hora de montaje:** 12:00 pm

Fecha	Día proceso	TA (°C)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	T5 (°C)	pH	Humedad (%)	Agua adicionada (L)	Concentración de Oxígeno (%)	CE (mS/cm)	Volteo
2-jun-17	0	16	21	15	15	14	13			0	40		
3-jun-17	1	15	27	27	26	23	23	7,25	68,19	22	52	0,221	X
4-jun-17	2	11	25										
5-jun-17	3	10	33	21	20	22	23						X
6-jun-17	4	4	33	23	19	17	17	8,16	62,26			0,364	
7-jun-17	5	8	30	17	17	17	17			8	34		X
8-jun-17	6	7	31	22	21	22	22						
9-jun-17	7	10	24	13	10	16	15						X
10-jun-17	8	9	20	18	14	15	13	8,53	63,36			0,321	
11-jun-17	9	7,5	21										
12-jun-17	10	10	22	17	17	16	17						
13-jun-17	11	10	24	17	17	18	18						X
14-jun-17	12	16	20	13	14	11	11						
15-jun-17	13	13	30	21	18	16	17						
16-jun-17	14	10	22	15	19	14	15						X
17-jun-17	15	7	21	15	13	12	14	8,13	63,51			0,324	
18-jun-17	16	15	24										
19-jun-17	17	9	27	19	17	17	17						
20-jun-17	18	18	27	19	18	17	18						
21-jun-17	19	17	24	17	16	15	16				79		
22-jun-17	20	9	22	15	15	17	16	9,51	61,57			0,249	
23-jun-17	21	12	17	14	13	16	12						
24-jun-17	22	7	19	15	14	17	12						
25-jun-17	23	12	16										
26-jun-17	24	11	16	10	13	12	11						
27-jun-17	25	5	17	14	11	10	11						
28-jun-17	26	15	18	13	12	12	12				87		
29-jun-17	27	10	14					9,35	57,61			0,274	X
30-jun-17	28	12	19	12	12	12	12				82		
1-jul-17	29	9	19	12	13	11	12						
2-jul-17	30	11	17										
3-jul-17	31	9,5	17										
4-jul-17	32	8	17	13	12	12	12				86		X

Fecha	Día proceso	TA (°C)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	T5 (°C)	pH	Humedad (%)	Agua adicionada (L)	Concentración de Oxígeno (%)	CE (mS/cm)	Volteo
5-jul-17	33	8	15	9	9	8	8						
6-jul-17	34	6	16	10	10	9	10						
7-jul-17	35	10	15	10	9	11	10						
8-jul-17	36	9	16	10	9	10	11		49,73				
9-jul-17	37	9	16										
10-jul-17	38	5	16	11	10	12	11						
11-jul-17	39	6	16	11	11	11	10	9,14	54,44			0,326	
12-jul-17	40	5	16	11	11	10	10						
13-jul-17	41	11	16	10	10	11	10			4	91		X
14-jul-17	42	9	14	10	11	11	10						
15-jul-17	43	10	16	11	10	10	10						
16-jul-17	44	12	15										
17-jul-17	45	8	16	10	10	11	11						
18-jul-17	46	5	16	10	10	9	10	10				0,407	
19-jul-17	47	11	15	10	10	10	10				90		
20-jul-17	48	10	16	11	10	11	10						
21-jul-17	49	11	15	9	11	11	10						
22-jul-17	50	5	16	11	11	10	11						
23-jul-17	51	6	16										
24-jul-17	52	6	15										
25-jul-17	53	4	14										
26-jul-17	54	8	14										
27-jul-17	55	11	14	10	9	9	8				93		X
28-jul-17	56	9	14	9	10	9	9						
29-jul-17	57	5	14	9	10	9	8						
30-jul-17	58	9	15										
31-jul-17	59	6	16										
1-ago-17	60	8	14										
2-ago-17	61	8	15										
3-ago-17	62	10	14										
4-ago-17	63	9	15										
5-ago-17	64	6	14										
6-ago-17	65	10	15										
7-ago-17	66	9	14										
8-ago-17	67	11	15										
9-ago-17	68	9	15										
10-ago-17	69	11	14					7,89	50,90			0,09	

**"EVALUACIÓN DEL COMPOSTAJE DE MATERIALES DE ENMIENDA Y DE LOS RESIDUOS PROVENIENTES DEL CULTIVO DE LA CEBOLLA JUNCA EN EL PÁRAMO DE BERLÍN, SANTANDER"**

**Fecha:** 02-jun-17

**Pila:** C3

**Composición:**

*Residuos de cebolla y aserrín.*

**Peso:** 101 Kg

**Responsable:** Angélica Hernández

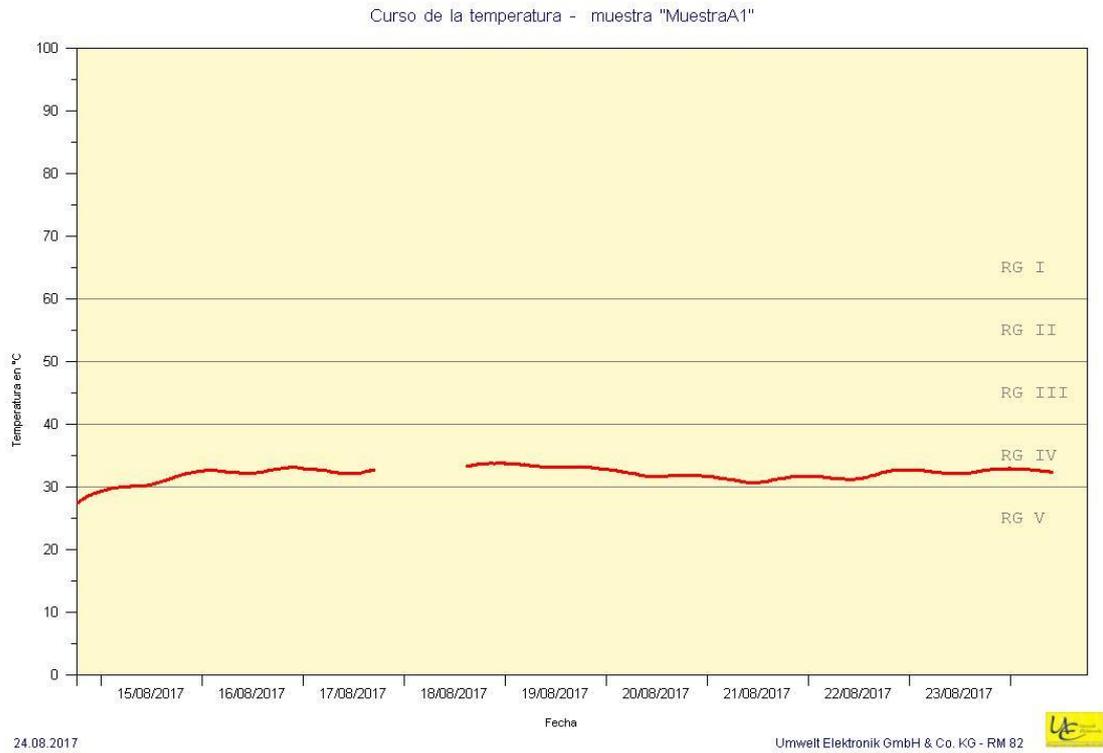
**Hora de montaje:** 11:40 am

Fecha	Día proceso	TA (°C)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	T5 (°C)	pH	Humedad (%)	Agua adicionada (L)	Concentración de Oxígeno (%)	CE (mS/cm)	Volteo
2-jun-17	0	16	21	15	13	15	14				50		
3-jun-17	1	15	24	16	15	18	16	7,47		22	60	0,288	X
4-jun-17	2	11	24										
5-jun-17	3	10	33	22	21	19	16						X
6-jun-17	4	4	24	19	16	17	17	8	57,26			0,316	
7-jun-17	5	8	30	19	18	18	19			8	40		X
8-jun-17	6	7	30	20	21	20	20						
9-jun-17	7	10	15	15	15	13	14						X
10-jun-17	8	9	21	11	15	11	15	8,91				0,528	
11-jun-17	9	7,5	22										
12-jun-17	10	10	24	17	17	18	18						
13-jun-17	11	10	24	18	18	17	18						X
14-jun-17	12	16	24	15	20	19	19						
15-jun-17	13	13	31	21	18	18	16	9,05	57,95			0,1977	
16-jun-17	14	10	33	20	17	17	18						X
17-jun-17	15	7	20	16	16	18	16						
18-jun-17	16	15	24										
19-jun-17	17	9	28	16	18	18	17						
20-jun-17	18	18	27	17	17	16	18						
21-jun-17	19	17	21	15	16	15	16				76		
22-jun-17	20	9	21	16	16	15	16	8,97	56,3			0,236	
23-jun-17	21	12	17	13	14	13	15						
24-jun-17	22	7	21	4	16	14	16						
25-jun-17	23	12	18										
26-jun-17	24	11	18	12	14	15	12						
27-jun-17	25	5	16	9	10	11	13						
28-jun-17	26	15	19	13	13	14	13				88		
29-jun-17	27	10	16					9,01	56,45			0,336	X
30-jun-17	28	12	20	14	13	13	12				84		
1-jul-17	29	9	18	12	12	13	12						
2-jul-17	30	11	17										
3-jul-17	31	9,5	17										

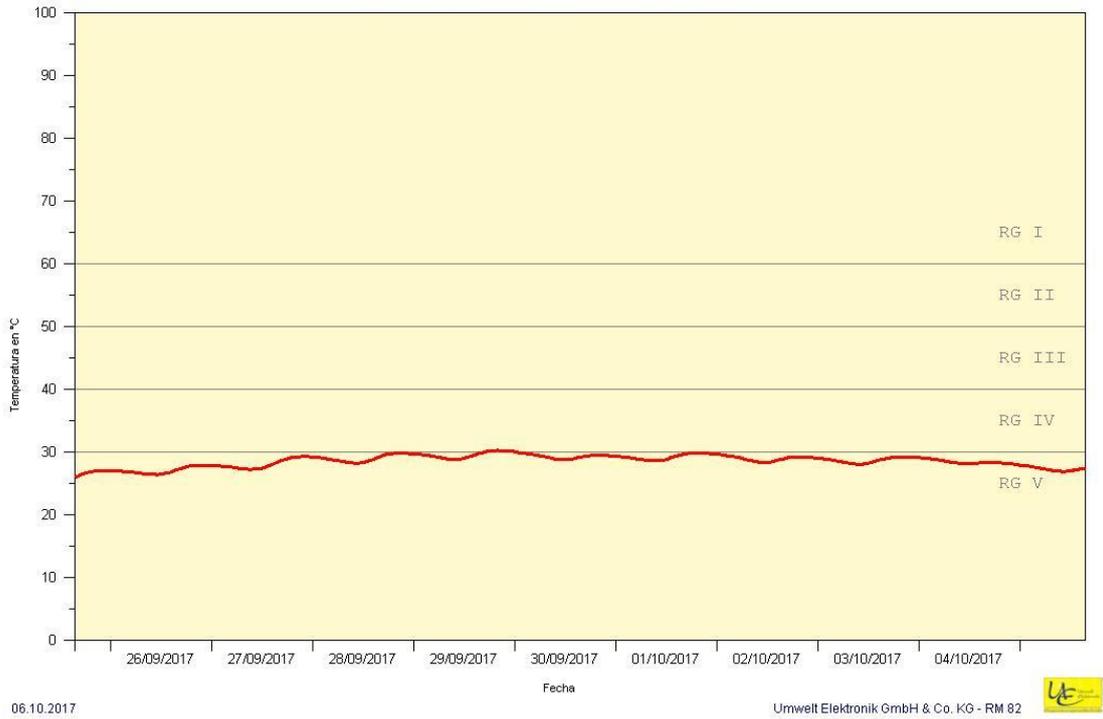
Fecha	Día proceso	TA (°C)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	T5 (°C)	pH	Humedad (%)	Agua adicionada (L)	Concentración de Oxígeno (%)	CE (mS/cm)	Volteo
4-jul-17	32	8	17	12	11	11	10				89		X
5-jul-17	33	8	16	10	11	10	10						
6-jul-17	34	6	16	10	9	9	10						
7-jul-17	35	10	15	10	9	9	10						
8-jul-17	36	9	15	11	11	10	9		59,11				
9-jul-17	37	9	15										
10-jul-17	38	5	16	10	9	9	10						
11-jul-17	39	6	16	10	11	9	9	9,37	41,54			0,263	
12-jul-17	40	5	16	10	11	11	10						
13-jul-17	41	11	16	11	10	11	10			4	83		X
14-jul-17	42	9	16	10	11	10	11						
15-jul-17	43	10	15	9	10	10	10						
16-jul-17	44	12	16										
17-jul-17	45	8	15	11	10	10	10						
18-jul-17	46	5	15	10	10	10	10	9,64	53,8			0,586	
19-jul-17	47	11	16	9	9	10	10						
20-jul-17	48	10	15	10	9	10	10				94		
21-jul-17	49	11	14	9	10	10	10						
22-jul-17	50	5	17	9	9	10	10						
23-jul-17	51	6	16										
24-jul-17	52	6	15										
25-jul-17	53	4	15										
26-jul-17	54	8	14										
27-jul-17	55	11	14	8	8	8	9						X
28-jul-17	56	9	14	10	8	10	9						
29-jul-17	57	5	14	8	9	8	8						
30-jul-17	58	9	14										
31-jul-17	59	6	15										
1-ago-17	60	8	14										
2-ago-17	61	8	14										
3-ago-17	62	10	14										
4-ago-17	63	9	14										
5-ago-17	64	6	14										
6-ago-17	65	10	15										
7-ago-17	66	9	14										
8-ago-17	67	11	14										
9-ago-17	68	9	14										
10-ago-17	69	11	14					7,96	44,60			0,80	

## Anexo H. Pruebas de estabilidad realizadas a cada uno de los productos obtenidos

### Tratamiento A. Pollinaza, residuos de alimentos crudos y aserrín.

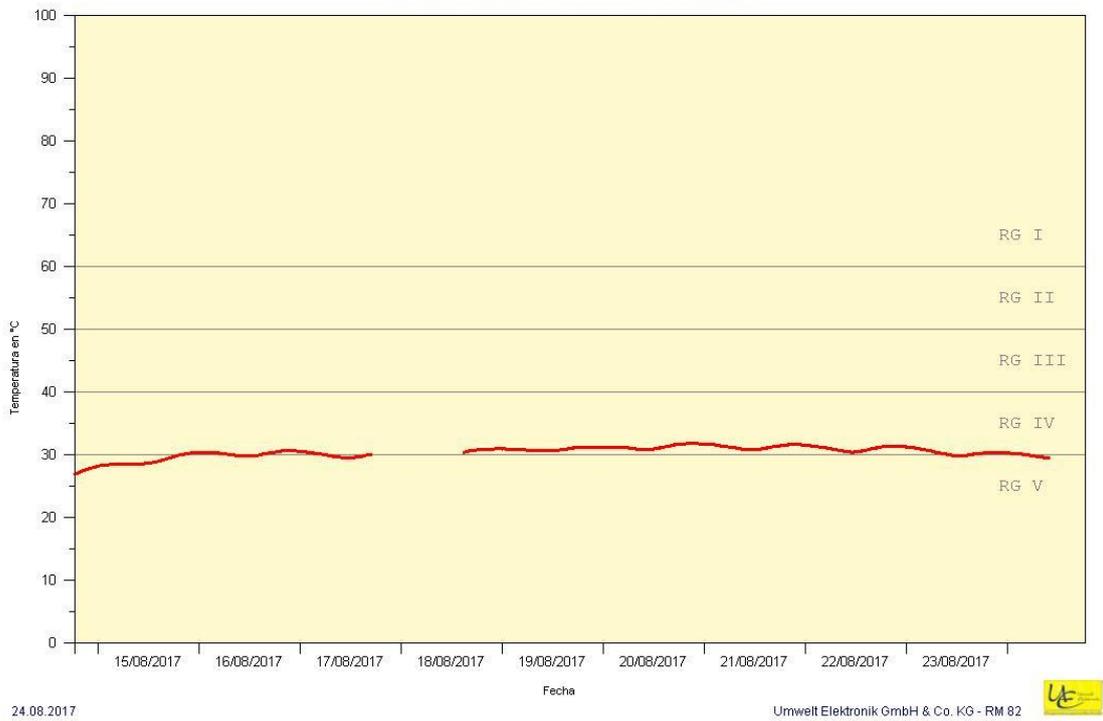


Curso de la temperatura - muestra "Muestra \_A3"

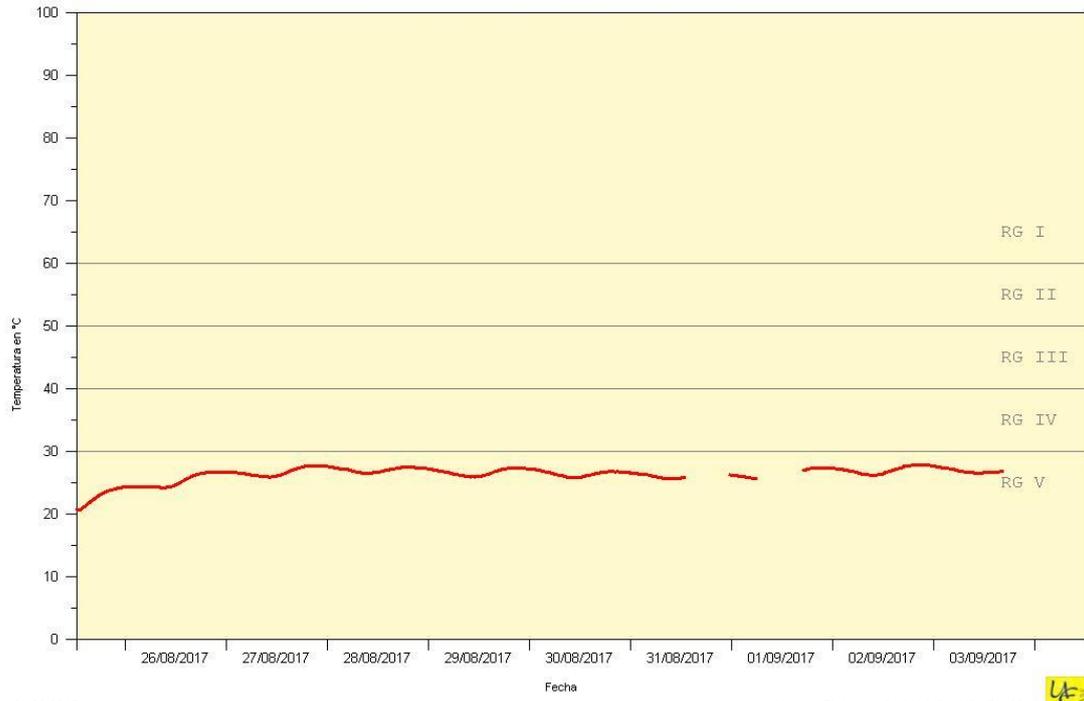


**Tratamiento B. Pollinaza, residuos de cebolla junca y aserrín.**

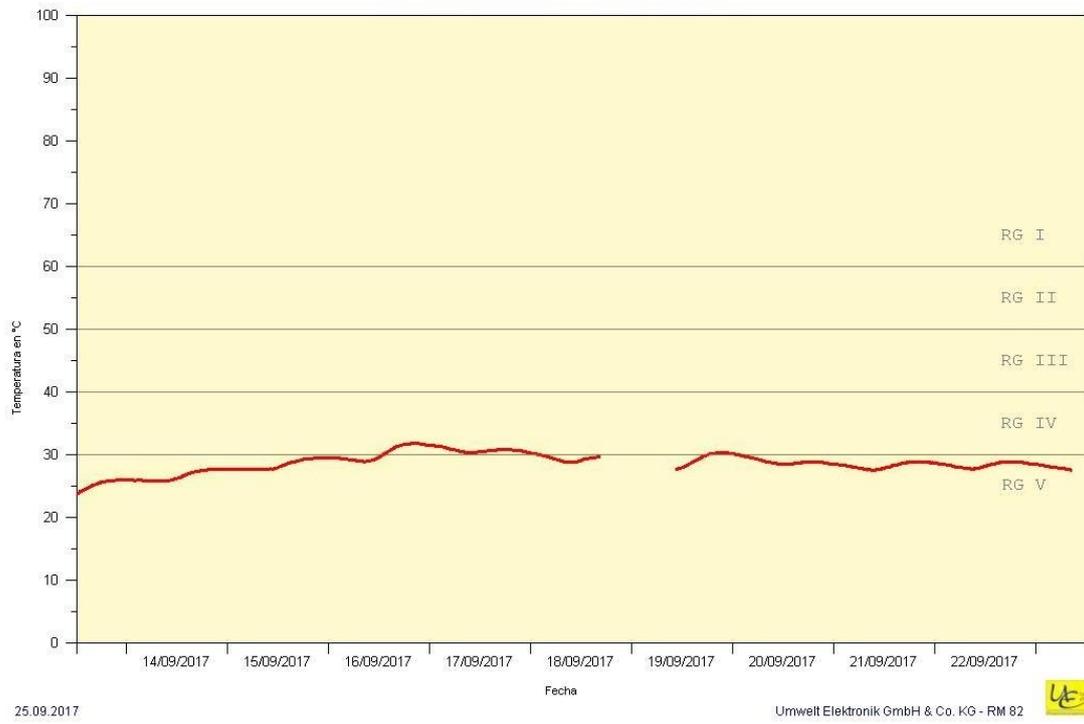
Curso de la temperatura - muestra "Muestra B1"



Curso de la temperatura - muestra "MuestraB2"

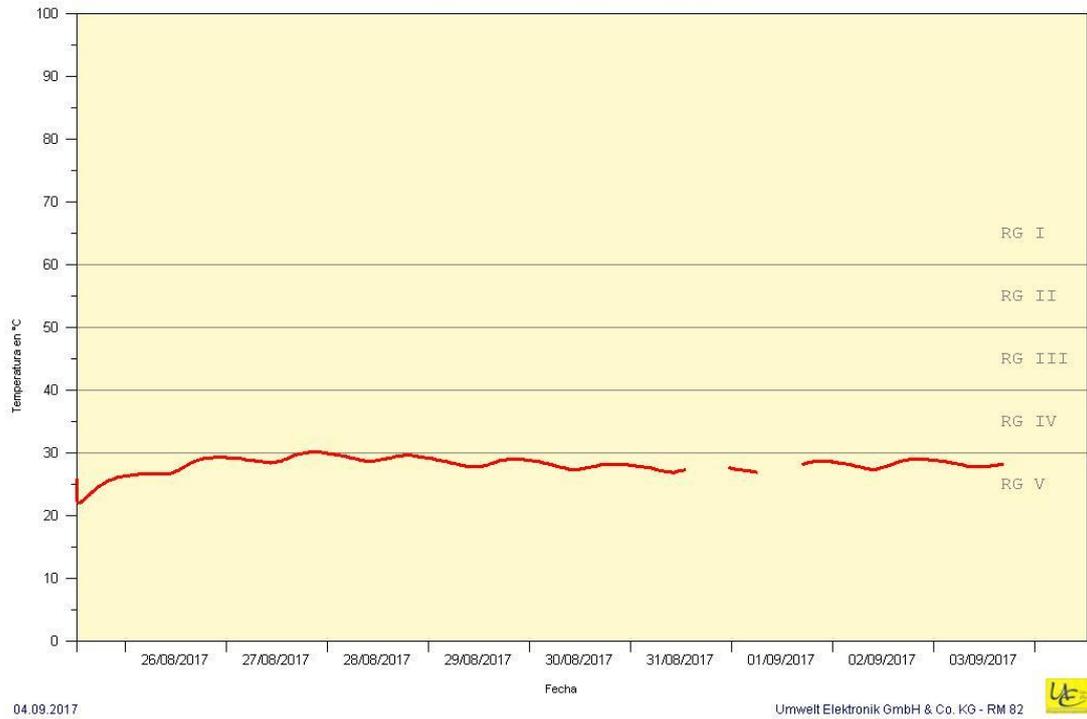


Curso de la temperatura - muestra "Muestra B3 "

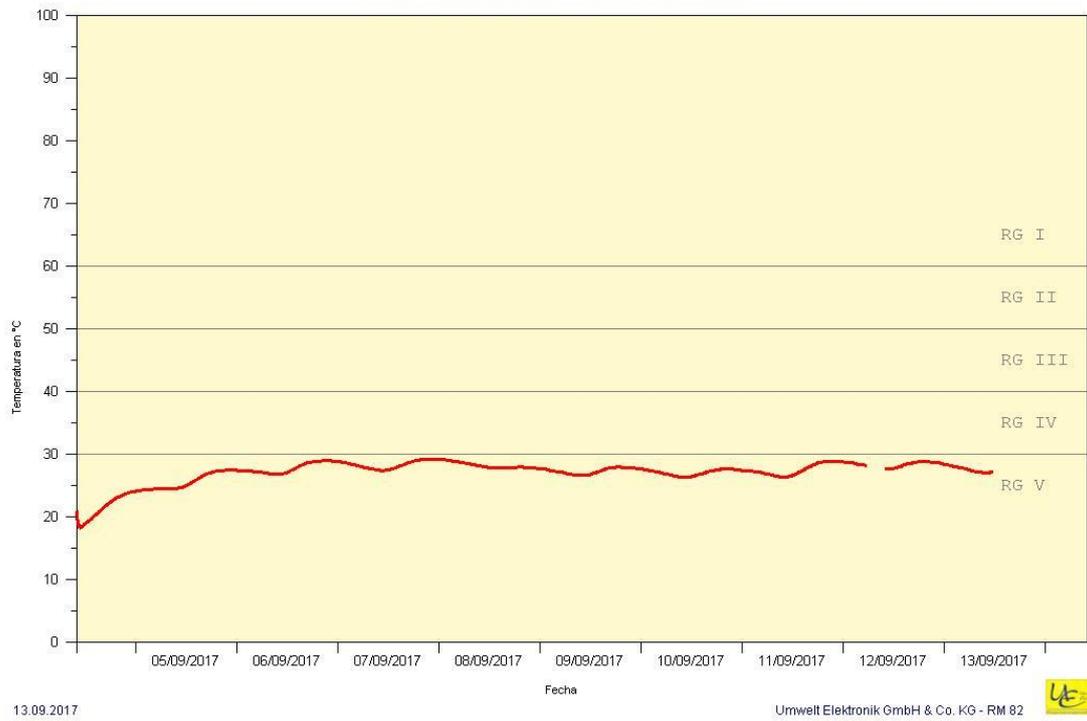


## Tratamiento C. Residuos de cebolla junca y aserrín.

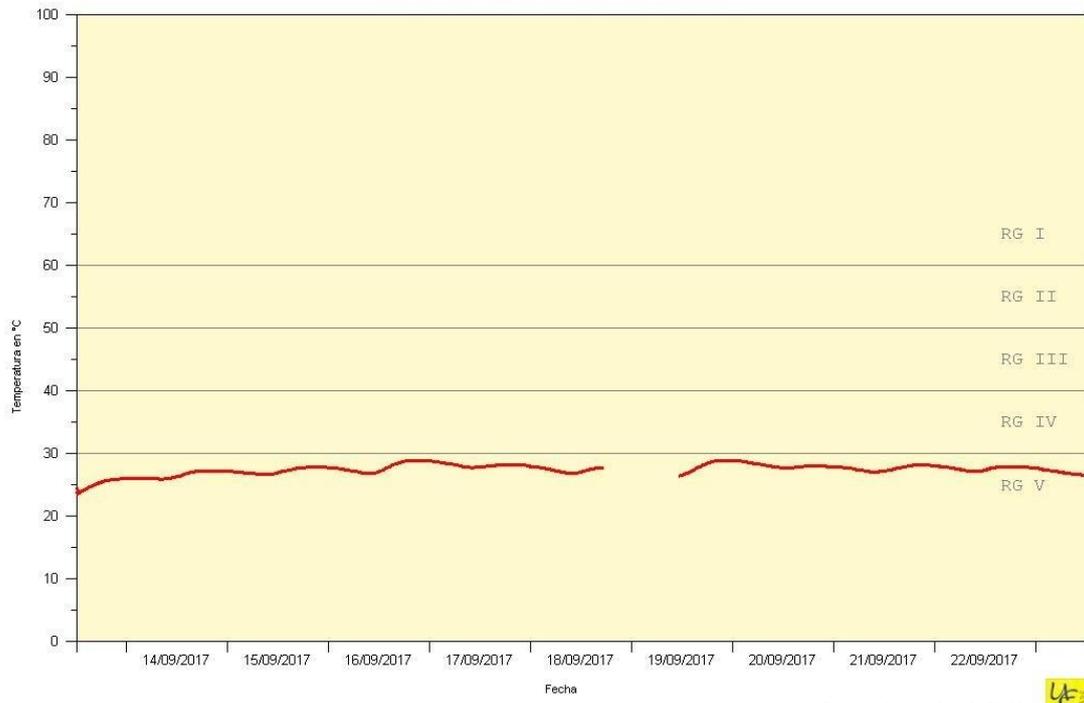
Curso de la temperatura - muestra "Muestra C1"



Curso de la temperatura - muestra "MuestraC2"



Curso de la temperatura - muestra "Muestra C3 "



25.09.2017

Umwelt Elektronik GmbH & Co. KG - RM 82

