



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL

**“EVALUACIÓN DE LA DOSIFICACIÓN DE DOS ACTIVOS BIOLÓGICOS
(BIOPROT Y BIOFUN) EN EL PROCESO DE DESCOMPOSICIÓN DE
SUSTRATO DE CORTEZA DE PINO (*Pinus radiata*), EN EL SECTOR LOS
ÁNGELES, PARROQUIA PATRICIA PILAR, CANTÓN BUENA FÉ, PROVINCIA
DE LOS RÍOS”**

TRABAJO DE TITULACIÓN
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PARA TITULACIÓN DE GRADO
PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL
TÍTULO DE INGENIERO FORESTAL

PABLO SANTIAGO GALLARDO VALENCIA

RIOBAMBA –ECUADOR

2018

HOJA DE CERTIFICACIÓN

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: el trabajo de titulación denominado **EVALUACIÓN DE LA DOSIFICACIÓN DE DOS ACTIVOS BIOLÓGICOS (BIOPROT Y BIOFUN) EN EL PROCESO DE DESCOMPOSICIÓN DE SUSTRATO DE CORTEZA DE PINO (*Pinus radiata*), EN EL SECTOR LOS ÁNGELES, PARROQUIA PATRICIA PILAR, CANTÓN BUENA FÉ, PROVINCIA DE LOS RÍOS**, de responsabilidad del señor Pablo Santiago Gallardo Valencia, ha sido minuciosamente revisado por los miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

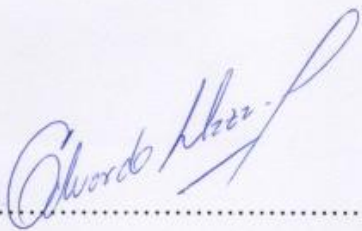
TRIBUNAL DE TRABAJO DE TITULACIÓN



.....
Bq. Edwin Fernando Basantes Basantes
DIRECTOR

06 - 12 - 2018

.....
FECHA



.....
Ing. Eduardo Patricio Salazar Castañeda
DIRECTOR

06 - 12 - 2018

.....
FECHA

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo Pablo Santiago Gallardo Valencia, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes y el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.



.....
Pablo Santiago Gallardo Valencia

CI: 160052189-0

AUTORÍA

La autoría del presente trabajo es de propiedad intelectual del autor, de la empresa NOVOPAN DEL ECUADOR S.A. y de la Escuela de Ingeniería Forestal de la ESPOCH.

DEDICATORÍA

Dedico este trabajo a mis padres, ya que gracias a su apoyo he podido salir adelante sintiéndome orgulloso de lo que soy, logrando superar cada obstáculo que la vida me ha presentado; sin ellos no podría estar donde ahora estoy. Hoy más que nunca agradezco todo lo que han hecho por mí.

AGRADECIMIENTO

Me permito agradecer primeramente a Dios que con su infinita misericordia me permite seguir respirando y esforzándome todos los días, además de tener la oportunidad de ser un mejor profesional, hijo, hermano, tío y persona.

Agradezco con todo mi corazón a mi madre quien siempre estuvo ahí para apoyarme con su inagotable amor y darme aliento cuando las adversidades surgían, muchas gracias por todo mami.

A todos mis amigos que me acompañaron desde los primeros semestres, en mi corazón siempre estarán todos los momentos vividos a su lado, que llenaron de grandes aventuras, anécdotas y enseñanza en mi vida. Lo más valioso durante mi vida universitaria fue su sincera amistad, muchas gracias.

TABLA DE CONTENIDO

| CONTENIDO | PAGINA |
|---|---------------|
| LISTA DE TABLAS..... | i |
| LISTA DE ILUSTRACIONES..... | ii |
| LISTA DE FIGURAS..... | iii |
| I. TITULO..... | 1 |
| II. INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| A. JUSTIFICACIÓN..... | 2 |
| B. OBJETIVOS..... | 3 |
| 1. Objetivo general..... | 3 |
| 2. Objetivos específicos..... | 3 |
| C. HIPÓTESIS..... | 3 |
| 1. Hipótesis nula..... | 3 |
| 2. Hipótesis alternante..... | 3 |
| III. REVISIÓN DE LITERATURA..... | 4 |
| A. EL SUSTRATO..... | 4 |
| B. CLASIFICACIÓN DE LOS SUSTRATOS..... | 4 |
| 1. Materiales orgánicos..... | 5 |
| 2. Materiales inorgánicos..... | 5 |
| C. SUSTRATO DE CORTEZO DE PINO..... | 5 |
| D. PROPIEDADES DE LOS SUSTRATOS..... | 7 |
| 1. Propiedades físicas de los sustratos..... | 8 |
| 2. Propiedades químicas de los sustratos..... | 13 |
| 3. Propiedades biológicas de los sustratos..... | 16 |
| E. COMPOSTAJE..... | 17 |
| 1. Compostaje aeróbico..... | 18 |
| 2. Compostaje anaerobio..... | 20 |
| 3. Sistemas de compostaje..... | 20 |
| F. FASES DEL COMPOSTAJE SEGÚN FAO (2013)..... | 22 |
| 1. Fase Mesófila..... | 22 |
| 2. Fase Termófila o de Higienización..... | 23 |

| | | |
|--------------|---|-----------|
| 3. | Fase de Enfriamiento o Mesófila II | 23 |
| 4. | Fase de Maduración | 24 |
| IV. | MATERIALES Y METODOS | 25 |
| A. | CARACTERISTICAS DEL LUGAR | 25 |
| 1. | Localización..... | 25 |
| 2. | Ubicación geográfica | 25 |
| 3. | Características climatológicas..... | 25 |
| 4. | Clasificación ecológica | 25 |
| 5. | Características del suelo..... | 25 |
| B. | MATERIALES Y EQUIPOS | 27 |
| 1. | Equipos y herramientas..... | 27 |
| 2. | Insumos | 27 |
| C. | METODOLOGÍA | 27 |
| 1. | Para el cumplimiento del primer objetivo: Análisis químico del sustrato antes y después del proceso de descomposición | 27 |
| 2. | Para el cumplimiento del segundo objetivo análisis económico del proceso de descomposición de corteza de pino molido. | 36 |
| V. | RESULTADOS | 37 |
| 1. | Análisis químico de sustrato antes y después del proceso de descomposición..... | 37 |
| 2. | Análisis económico del proceso de descomposición de corteza de pino molido..... | 46 |
| VI. | RESUMEN | 55 |
| VII. | SUMMARY | 56 |
| VIII. | BIBLIOGRAFIA | 57 |
| IX. | ANEXOS..... | 62 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Valores ideales de propiedades físicas de sustrato | 10 |
| Tabla 2. Variación de la porosidad, densidad aparente y retención de agua de acuerdo con el grado de compactación..... | 11 |
| Tabla 3. Propiedades y características deseables de componentes inorgánicos para sustratos de cultivo..... | 12 |
| Tabla 4. Propiedades y características deseables de componentes orgánicos para sustratos de cultivo..... | 13 |
| Tabla 5. Dosificación base usada en el vivero forestal "Los Ángeles" | 29 |
| Tabla 6. Tratamientos para el proceso de descomposición de la corteza de pino molida | 29 |
| Tabla 7. Segunda dosificación de insumos para el proceso de descomposición de corteza de pino molida | 32 |
| Tabla 8. Dosificación del segundo activo biológico Biofung | 33 |
| Tabla 9. Interpretación de pH | 35 |
| Tabla 10. Costos de producción para análisis económico del proceso de descomposición del sustrato de corteza de pino molida..... | 36 |
| Tabla 11. Análisis de varianza de la fase termófila de la variable temperatura..... | 37 |
| Tabla 12. Separación de medias según Tukey al 5% | 37 |
| Tabla 13. Análisis de varianza de la fase mesófila II de la variable temperatura..... | 39 |
| Tabla 14. Separación de medias según Tukey al 5% | 39 |
| Tabla 15. Análisis de varianza de la fase de maduración en la variable temperatura.... | 41 |
| Tabla 16. Separación de medias según Tukey al 5% | 41 |
| Tabla 17. Análisis estadístico del pH por tratamiento/ repetición. Según Kruskal Willis en la variable pH. | 43 |
| Tabla 18. Separación de medias según Kruskal Willis del pH por tratamiento/repetición en la variable pH | 44 |
| Tabla 19. Análisis químico de la relación C/N por tratamiento | 45 |
| Tabla 20. Jornales necesarios en las actividades referentes al compostaje de corteza de pino molida | 47 |
| Tabla 21. Costos de insumos del tratamiento 1 | 48 |
| Tabla 22. Costos de insumos del tratamiento 2 | 48 |
| Tabla 23. Costos de insumos del tratamiento 3 | 49 |

| | |
|--|----|
| Tabla 24. Costos de insumos del tratamiento 4 | 49 |
| Tabla 25. Costos de insumos del testigo..... | 50 |
| Tabla 26. Costos totales por tratamiento..... | 50 |
| Tabla 27. Promedio semanal de temperaturas del tratamientos 1 | 66 |
| Tabla 28. Promedio semanal de temperatura de las repeticiones del tratamiento 2 | 67 |
| Tabla 29. Promedio semanal de temperatura de las repeticiones del tratamiento 3 | 68 |
| Tabla 30. Promedio semanal de temperatura de las repeticiones del tratamiento 4 | 69 |
| Tabla 31. Promedio semanal de temperatura de las repeticiones del testigo..... | 70 |

LISTA DE ILUSTRACIONES

| | |
|--|----|
| Ilustración 1. Cajón de sustrato de 1 m ³ | 62 |
| Ilustración 2. Llenado del cajón de sustrato | 62 |
| Ilustración 3. Establecimiento de las pilas de sustrato | 62 |
| Ilustración 4. Pila de sustrato de 1 m ³ | 62 |
| Ilustración 5. Solución del activo biológico en agua | 63 |
| Ilustración 6. Aplicación de los activos biológicos | 63 |
| Ilustración 7. Activo biológico “Bioprot” | 63 |
| Ilustración 8. Activo biológico “Biofung” | 63 |
| Ilustración 9. Etiquetación de los tratamientos | 64 |
| Ilustración 10. Tapado de las pilas de sustratos | 64 |
| Ilustración 11. Volteo del sustrato..... | 64 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Hongo indicador de la fase mesófila II | 24 |
| Figura 2. Mapa General de la parroquia Patricia Pilar. | 26 |
| Figura 3. Cajón de sustrato de 1m ³ | 28 |
| Figura 4. Mapa de los tratamientos..... | 30 |
| Figura 5. Temperatura alcanzada en la fase termófila. | 38 |
| Figura 6. Temperatura alcanzada en la fase mesófila II. | 40 |
| Figura 7. Temperatura alcanzada en la fase de maduración | 42 |
| Figura 8. pH por tratamiento/repetición | 44 |
| Figura 9. Mapa General de la hacienda "Los Ángeles" | 65 |
| Figura 10. Comparación de temperaturas semanales de las repeticiones del tratamiento 1 | 66 |
| Figura 11. Comparación de temperaturas semanales de las repeticiones del tratamiento 2 | 67 |
| Figura 12. Comparación de temperaturas semanales de las repeticiones del tratamiento 3 | 68 |
| Figura 13. Comparación de temperaturas semanales de las repeticiones del tratamiento 4 | 69 |
| Figura 14. Comparación de temperaturas semanales de las repeticiones del testigo | 70 |

I. **EVALUACIÓN DE LA DOSIFICACIÓN DE DOS ACTIVOS BIOLÓGICOS (BIOPROT Y BIOFUNG) EN EL PROCESO DE DESCOMPOSICIÓN DE SUSTRATO DE CORTEZA DE PINO (*Pinus radiata*), EN EL SECTOR LOS ÁNGELES, PARROQUIA PATRICIA PILAR, CANTÓN BUENA FÉ, PROVINCIA DE LOS RÍOS.**

II. **INTRODUCCIÓN**

Tomando en cuenta la utilización de la corteza de *Pinus radiata*, se puede obtener un sustrato de calidad, pasando por un proceso de compostaje aerobio involucrando microorganismos descomponedores. En el presente estudio se utilizó soluciones concentradas de varias cepas vivas de *Bacilos sp* y *Trichoderma sp* en dos diferentes productos comerciales Bioprot y Biofung para acelerar y comprobar la calidad del sustrato compostado, teniendo como finalidad obtener un sustrato óptimo para la producción de especies forestales. Troval (1983), en su estudio de la utilización de la corteza de pino como sustrato pudo determinar que esta era superior a las mezclas de tierra y la turba. Por lo que se puede tener un sustrato de calidad, pasando por un previo proceso de compostaje, sustrato que se lo puede usar en forma pura o mezclada con otros materiales.

Grez & Gerding (1995), determinaron en su trabajo que la corteza presenta propiedades físicas óptimas teniendo una baja densidad aparente, alta capacidad de retención de agua y desde el punto de vista nutricional respecto a los micronutrientes (potasio, calcio, magnesio, hierro y manganeso) se encontraban en las proporciones óptimas para el desarrollo de las plántulas, mientras que el zinc estaba en una elevada proporción, teniendo deficiencias de cobre y boro llegando a la conclusión de que se necesita fertilizar la corteza en forma previa a su uso.

En esta investigación evaluaremos la dosificación del activo biológico Bioprot que sirve como acelerador de descomposición de la materia orgánica que en este caso será la corteza de pino molida, conjuntamente funcionando con el activo biológico Biofung el cual sirve para eliminar patógenos que pueden estar presentes en el sustrato de corteza de pino molida. Ambos productos (Bioprot y Biofung) pertenecen a la empresa BIOGREEN.

A. JUSTIFICACIÓN

La utilización de un desperdicio de la explotación industrial forestal hablando específicamente de la corteza de la especie *Pinus radiata*, es una iniciativa que provee un sustrato de calidad aprovechando el recurso al máximo, disminuyendo los desechos.

La importancia de un buen sustrato es esencial para la producción de plántulas de alta calidad ya que este aportará con el soporte físico así como los nutrientes indispensables para el desarrollo de la plántula (nitrógeno, fosforo y potasio), de igual forma deberá tener una porosidad elevada para que las raíces puedan penetrar dicho sustrato y desarrollarse.

La corteza de pino usada en los contenedores es indudablemente un gran componente, proporciona el drenaje y la aireación a largo plazo que necesitan las raíces de la planta, también incrementa la densidad aparente del medio de cultivo y por consiguiente, estabiliza el recipiente en condiciones en las que hay mucho viento.

Blatta Soft (2002) afirman además que mediante el compostaje del sustrato de pino se eliminan sustancias fitotóxicas, refiriéndose específicamente a los fenoles y se obtiene un ajuste de la relación C/N, por lo que es necesario tener un sustrato de corteza de pino correctamente compostada, eliminando sustancias fitotóxicas y ajustando sus propiedades físicas y químicas a los niveles óptimos para asegurar una buena producción de plántulas de especies forestales a nivel de vivero.

Debido a la falta de investigaciones sobre el proceso de descomposición de sustrato de corteza de pino molida, a nivel nacional y en la empresa NOVOPAN DEL ECUADOR, es necesario realizar el presente estudio para obtener un correcto proceso de descomposición del sustrato y por consiguiente tener un sustrato de calidad.

B. OBJETIVOS

1. Objetivo general

Evaluar la dosificación de dos activos biológicos (bioprot y biofung) en el proceso de descomposición de sustrato de corteza de pino molida en el sector Los Ángeles, parroquia Patricia Pilar, cantón Buena Fé, provincia de Los Ríos

2. Objetivos específicos

- a. Realizar análisis químico de sustrato antes y después del proceso de descomposición
- b. Realizar un análisis económico, del proceso de descomposición de corteza de pino molida

C. HIPÓTESIS

1. Hipótesis nula

Todas las dosificaciones de los activos biológicos producen el mismo efecto de descomposición.

2. Hipótesis alternante

Las diferentes dosificaciones del activo biológico producen diferentes efectos de descomposición.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

A. EL SUSTRATO

Según Calderón (2006), sustrato se refiere a “todo material, natural o sintético, mineral u orgánico, de forma pura o mezclado, cuya función principal es servir como medio de crecimiento y desarrollo a las plantas, permitiendo su anclaje y soporte a través del sistema radical, favoreciendo el suministro de agua, nutrientes y oxígeno”.

Abad, Noruega & Carrión (2004), señalan que sustrato es todo material sólido distinto del suelo in situ, natural, de síntesis o residual, mineral u orgánico, que colocado en un contenedor, en forma pura o en mezcla, permite el anclaje del sistema radicular, desempeñando, un papel de soporte para la planta.

Se define un buen sustrato por la especie vegetal, condiciones ambientales y el costo del material para su elaboración. Sade (1997) señala, que “Un buen sustrato puede reconocerse por sus propiedades físicas, debe ser liviano, esponjoso y con buena capacidad de almacenar agua, químicas y se miden a través de técnicas de laboratorio utilizadas a nivel internacional y específicos para sustratos”.

Bunt (1988) afirma, que para poder elegir un sustrato sea usado en forma pura o mezclado como parte de un sustrato es necesario analizar la disponibilidad del mismo y el costo.

B. CLASIFICACIÓN DE LOS SUSTRATOS

Para clasificar los sustratos existen diferentes formas y criterios, siendo mayormente clasificado por el origen de los materiales, su naturaleza, sus propiedades y su capacidad de degradación.

Terés (2001) realiza en base a los componentes orgánicos e inorgánicos de la forma siguiente:

1. Materiales orgánicos

- De origen natural. Se caracterizan por estar sujetos a descomposición biológica. El más empleado es la turba.
- De síntesis. Son polímeros orgánicos no biodegradables, que se obtienen mediante síntesis química (espuma de poliuretano, espuma de ureaformaldehído, poliestireno expandido, etc).
- Subproductos y residuos de diferentes actividades agrícolas, ganaderas, industriales, urbanas, etc. Muchos materiales de este grupo deberán someterse a un proceso de compostaje para su adecuación como sustratos (cascarilla de arroz, estiércoles, cortezas de árboles, serrín, virutas de madera, residuo de fibra de coco, residuo del corcho, residuos sólidos urbanos, lodos de depuración de aguas residuales, etc).

2. Materiales inorgánicos

- De origen natural. Se obtienen a partir de rocas o minerales de origen diverso
- Modificándose de modo ligero, mediante tratamientos físicos sencillos. No son biodegradables (arena, grava, tierra volcánica, etc).
- Transformados o tratados industrialmente. A partir de rocas o minerales, mediante tratamientos físicos -y a veces también químicos- más o menos complejos, que modifican notablemente las características iniciales de los materiales de partida (arcilla expandida, lana de roca, perlita, vermiculita, etc).

C. SUSTRATO DE CORTEZO DE PINO

Rubén (2014) menciona que, los orígenes del uso generalizado de la corteza de pino como sustrato se remontan a la década de 1960, con el fin de aprovechar los desechos generados por la explotación industrial de especies coníferas que amenazaban con convertirse en un factor de contaminación, debido a su enorme acumulación y a su casi nula descomposición. El compost de corteza de pino es el producto final del compostada de materiales provenientes de aserraderos y descortezadoras de madera, actualmente siendo utilizado como sustrato en forma pura o mezclado con otro material en diversos viveros.

Troval (1983), en su estudio de la utilización de la corteza de pino como sustrato pudo determinar que esta era superior a las mezclas de tierra y la turba. Sus características físicas favorecen al crecimiento aéreo de la planta.

Se utilizan distintos métodos para acondicionar la corteza de pino como sustrato para jardinería, horticultura y silvicultura. Uno de ellos consiste en triturarla en trozos muy pequeños, de no más de 1 o 2 centímetros, y mezclarlos con estiércol vacuno y desechos vegetales para luego dejarlos fermentar. Este procedimiento permite obtener un sustrato de buenas características, pero demanda un mayor tiempo de compostaje. Otro proceso prevé la mezcla de la corteza de pino molida con turba o con fertilizantes minerales, una medida que posibilita disponer de un sustrato enriquecido de aplicación inmediata.

El medio de crecimiento que se utiliza en los contenedores, es habitualmente una mezcla que puede estar formada por corteza de pino radiata mezclada en diferentes porcentajes con turba, perlita o vermiculita. Actualmente en los viveros de la empresa NOVOPAN DEL ECUADOR S.A se utilizan únicamente corteza de pino con el fin de amenorar gastos y maximizar el aprovechamiento de los recursos.

En lo referente a la textura de la corteza hablando específicamente del tamaño de las partículas, debe ser seleccionada para poder mantener un rango apropiado de corteza. La distribución del tamaño de las partículas debe estar de 2 a 10 milímetros, para poder crear un porcentaje de porosidad óptimo y así mantener una aireación apropiada dentro de la corteza, facilitando el movimiento de agua y nutrientes que serán aprovechados por la planta

La textura del medio de crecimiento, es decir, la distribución de tamaño de las partículas de corteza, tiene que ser cuidadosamente seleccionada para mantener un rango apropiado de porosidad, el que debe persistir a lo largo de todo el ciclo de crecimiento. La distribución de tamaño que ha dado buenos resultados ha sido aquella entre 2 a 10 mm. Esto permite crear el porcentaje de porosidad óptimo para mantener una aireación apropiada dentro del sustrato y facilitar el movimiento de agua y nutrientes que serán absorbidos por las raíces (Van Eerden, 1974) ; (Bragg & Chamber, 1986).

Según Toro, J. & Quito, I (2007) las funciones del medio de crecimiento son cuatro:

1. Abastecer con el agua para mantener el crecimiento y otros procesos fisiológicos de la planta.
2. Mantener un nivel de aireación apropiado para permitir el intercambio de oxígeno y dióxido de carbono
3. Mantener una reserva de nutrientes adsorbidos a las partículas del medio de crecimiento para apoyar el crecimiento de las plántulas entre las aplicaciones de fertilizantes.
4. Permitir que las plántulas estén bien ancladas en el contenedor y mantenerlas en posición vertical. Esto en función de la densidad aparente, rigidez y compresibilidad del sustrato.

D. PROPIEDADES DE LOS SUSTRATOS

Las principales características de los sustratos usados en contenedores a nivel de vivero, deben ser clasificadas en las que influyen en el crecimiento de las plántulas y las que afectan a la actividad operacional del vivero. Siendo el primer hablando de las especies de Eucaliptos, el pH debe mantenerse en un rango de 5,5 y 6,0, teniendo en cuenta que el pH ejerce un papel fundamental en la disponibilidad de los nutrientes, afectando también a la actividad biológica.

Otra variable a tener en consideración es la facilidad o aptitud que presenta el sustrato para mezclarse con otros materiales. Se debe tomar en cuanto además la estabilidad dimensional que tenga.

Deben evitarse aquellos sustratos que se expandan o contraigan, como ocurre con las turbas cuando se les somete a periodos de secamiento y humedecimiento.

Gavilan (2003) menciona las propiedades que se deben tener en consideración en los materiales utilizados para fabricar sustratos

- a) Granulometría: tamaño medio y distribución del tamaño de partículas. A partículas más grandes, mayor será el contenido de aire y menor el de agua para determinada succión. Relación óptima aire/agua: 3/1.

- b) Porosidad: Mayor a 85 %.
- c) Capacidad de agua disponible: 24 - 40 %.
- d) Densidad aparente: Menor a 0.4 gr/cm³.
- e) Relación C/N y grado de estabilidad de la materia orgánica.
- f) Capacidad de intercambio de cationes (CIC): 6-15 meq/100gr (24-60 meq/litro).
- g) pH con efecto importante en la disponibilidad de nutrientes.
- h) Cantidad y disponibilidad de nutrientes.
- i) Concentración de sales en la solución acuosa.
- j) La salinidad dependerá del tipo de sustrato y del agua de riego. A menor volumen del recipiente, más riesgoso es la acumulación de sales a niveles de toxicidad.
- k) Conductividad eléctrica: menor a 0.65 mmhos/cm.
- l) Bajo costo.
- m) Libre de enfermedades, plagas y malezas.

Gallo & Viana (2005) mencionan que, un buen sustrato se debe comportar de manera adecuada, con propiedades físicas y químicas óptimas, que tenga un correcto reparto y composición de las fases sólida, líquida y gaseosa. Es necesario que el sustrato combine propiedades físicas y químicas favorables manteniéndolas inalteradas.

1. Propiedades físicas de los sustratos

Las propiedades físicas son aquellas que se perciben con los sentidos, como por ejemplo el color, la capacidad de retención de agua, la textura, la densidad aparente, la porosidad. Las propiedades físicas como la textura en muchos de los casos son propias de los sustratos y no pueden ser modificadas, mientras que las propiedades químicas son cambiantes, por este motivo en muchos de los casos los sustratos tienden a ser seleccionados mayormente por las propiedades físicas, ya que el componente químico se le puede suministrar fácilmente mediante la adición de algún tipo de fertilización o solución nutritiva (Hine, 1991).

a. Densidad real.

Según Ansorena (1994), la densidad real (DR) se define como “el cociente entre la masa de las partículas del sustrato y el volumen que ocupa, sin considerar a poros y huecos”, la cual no depende del grado de compactación ni del tamaño de partícula.

Escobar (2009), indica que las sustancias minerales pueden presentar valores de densidad real de 2,65 g/ml, mientras que los compuestos orgánicos presentan valores promedios de 1,50 g/ml.

b. Densidad aparente.

Gavilán (2003) define, a la densidad aparente como “la masa seca del material sólido por unidad de volumen aparente del sustrato húmedo teniendo incluido el espacio poroso de las partículas”. La densidad aparente (DAP) tiene un papel crucial en los sustratos, especialmente cuando se transporta, se necesita conocer el peso.

Jiménez y Caballero (1990) mencionan que densidad aparente indica el espacio total ocupado por los componentes sólidos más el espacio poroso, que indirectamente señala la porosidad del sustrato, su facilidad de transporte y manejo.

La densidad aparente es mejor en valores bajos que garanticen una cierta consistencia de la estructura, siendo un sustrato lo suficientemente pesado para mantener a la planta en posición vertical, evitando el volcamiento y sin mucho peso para amenorar los costos de transporte.

c. Porosidad.

Se define a la porosidad como el volumen porcentual del sustrato no ocupado por sus propias partículas, correspondiendo una parte del volumen a los poros que dan aireación siendo el tamaño de éste mayor a 30 micras. El resto del volumen es de tamaño menor siendo inferior a 30 micras, que determina la retención de agua puesto que ésta queda en forma de película alrededor de las partículas del sustrato tras el riego.

En la tabla 1 se indica los valores ideales de propiedades físicas de sustrato según Zapata et al. (2005).

Tabla 1. Valores ideales de propiedades físicas de sustrato

| Propiedades | Zapata et al. (2005) |
|--------------------------|-----------------------------|
| Densidad aparente (g/ml) | < 0,4 |
| Densidad real (g/ml) | 1,45-2,65 |
| Porosidad (%) | > 85 |

Fuente: Zapata et al. (2005)

d. Retención de agua.

La capacidad de campo es la capacidad máxima de retención de agua que puede retener el suelo cuando la mayoría de la macroporosidad es ocupada por aire, debilitando de esta forma la energía de retención y facilitando la absorción de las raíces (Masaguer & López, 2006). Gavilán (2003), indica que el agua de reserva es la cantidad de agua (% en volumen) que libera un sustrato al pasar de 50 a 100 cm de columna de agua (c.a). El límite de 100 cm de tensión se ha encontrado experimentalmente, trabajando con especies del género Ficus.

Se define el “Agua Total Disponible” de un sustrato como la suma del agua fácilmente disponible más el agua de reserva. Su nivel óptimo se sitúa entre el 24% y el 40% del volumen del sustrato. El “Agua Difícilmente Disponible” es el volumen de agua retenida por el sustrato a la tensión de 100 cm de c. a.

El cuadro 3 indica la variación de la porosidad, densidad aparente y retención de agua de acuerdo con el grado de compactación según Ansorena (1994).

Tabla 2. Variación de la porosidad, densidad aparente y retención de agua de acuerdo con el grado de compactación.

| Nivel de compactación | Porosidad total | Densidad aparente (g/ml) | Porosidad de aire (%) | Retención de agua (%) |
|------------------------------|------------------------|---------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Nulo | 58,0 | 1,1 | 42,0 | 16.0 |
| | 54,0 | 1,2 | 37,0 | 17.0 |
| | 50,0 | 1,3 | 30,0 | 20.0 |
| | 46,0 | 1,4 | 28,0 | 18.0 |
| | 42,0 | 1,5 | 24.0 | 18.0 |
| | 38,0 | 1,6 | 19.0 | 19.0 |
| | 34,0 | 1,7 | 9.0 | 25.0 |

Fuente: Ansorena (1994)

e. Distribución del tamaño de las partículas

Los sustratos son una mezcla de partículas de diferentes tamaños, variando las propiedades físicas en función de la distribución del tamaño de las partículas, siendo la distribución de éstas de suma importancia para la caracterización granulométrica, el tamaño de las partículas y de los poros determina el balance entre el contenido de agua y en aire del sustrato, a cualquier nivel de humedad.

La distribución del tamaño de las partículas de los sustratos se expresa frecuentemente como un único parámetro el índice de grosor. Este índice se define como el porcentaje acumulado (en peso o en volumen) de partículas superiores a 1 mm y suelen estar bien correlacionado con las características hidrofísicas del sustrato (Gavilán, 2003). Soria y Olivert (2002) afirman que el tamaño de los poros determina la capacidad de un sustrato en retener el agua y el aire. La porosidad aumenta en la medida que lo hace el tamaño medio de las partículas. Las partículas 10 pequeñas hacen disminuir la porosidad y aumentar la cantidad de agua retenida.

Cabrera (1998) menciona que la mayoría de los sustratos usados en la producción de plantas ornamentales consisten en una combinación de componentes orgánicos e

inorgánicos. Algunos de los materiales inorgánicos comunes incluyen arena, vermiculita, perlita, arcilla calcinada, piedra pómez y otros subproductos minerales, en la tabla 3 se indican las propiedades y características deseables de componentes inorgánicos para sustratos de cultivo según (Cabrera, 1998).

Por otro lado, los componentes orgánicos más populares incluyen: turba (peat moss), productos de madera orgánica, lodos de depuradora, fango, estiércol, paja, cascarilla de arroz y de cacahuate, etc. En la tabla 4 se indican Propiedades y características deseables de componentes orgánicos para sustratos de cultivo según Ansorena, (1994).

Tabla 3. Propiedades y características deseables de componentes inorgánicos para sustratos de cultivo.

Componentes inorgánicos, características deseables

- Alta capacidad de retención de agua disponible
- Tener una baja densidad de partículas
- Tener buena distribución de tamaño de partículas

Ejemplos

- Vermiculita (tiene alta capacidad de intercambio catiónico alta capacidad de retención de agua baja densidad de partículas)
- Perlita (porosa inerte débil mecánicamente)
- Arenas (alta densidad de partículas, baja, CIC)
- Subproductos minerales (tales como óxidos metálicos)

Fuente: Cabrera (1998)

Tabla 4. Propiedades y características deseables de componentes orgánicos para sustratos de cultivo.

Alta capacidad de retención de agua disponible

- Bien compostados y/o tratados con nitrógeno
- Tener un contenido de sales solubles (CE <4mMhos/cm)
- Que no sean portadores o vectores de plagas y/o enfermedades

Ejemplos

- Turba de pantano (Sphagnum peat moss), (excelente retención de agua, CIC baja densidad de partículas)
- Materia orgánica compostada (hojas de árboles, césped, residuos de poda)
- Lodos de tratadora o depuradora (debe tenerse cuidado con textura fina y metales pesados)
- Otros materiales (estiércol, pajas, bagazos, cascarrillas, etc.)

Fuente: Cabrera (1998)

Además de los requisitos de granulometría, un componente orgánico deberá ser estable con respecto a su descomposición, es decir, deberá haber pasado por un proceso de composteo con añejamiento. Esto eliminará fijaciones de nitrógeno por microorganismos encargados de la descomposición, fenómeno que típicamente origina reducciones en la disponibilidad de este nutrimento para las plantas (Ansorena, 1994).

2. Propiedades químicas de los sustratos

Las propiedades químicas de los sustratos caracterizan la transferencia de materia entre el sustrato y la solución del sustrato. Al contrario de las propiedades físicas, las químicas pueden ser cambiadas aplicando fertirriego. Los materiales orgánicos, contribuyen a la química de los sustratos debido a la formación y presencia de sustancias húmicas que son el principal producto final de la descomposición de los materiales orgánicos (Raviv et al., 1986).

a. Potencial hidrogeno (pH)

El pH se lo define como el logaritmo negativo de la concentración molar (más exactamente de la actividad molar) de los iones hidrógeno, variable que juega un papel fundamental para el crecimiento de las plantas donde pueden sobrevivir con amplios márgenes de pH en el sustrato.

Masaguer y López (2006), menciona las plantas y la disponibilidad de nutrientes necesitan un pH ligeramente ácido que van de 5,5 a 6,6.

El pH tiene un papel fundamental en la disponibilidad de los nutrientes, la capacidad de intercambio catiónico y la actividad biológica de los sustratos, la mayoría de los elementos están en su máxima disponibilidad con un pH de 5 a 6,5 y con valores debajo de 5 pueden aparecer deficiencias de N, K, Ca o Mg.

El pH ejerce sus efectos principales sobre la asimilación de los nutrientes, la capacidad de intercambio catiónico y la actividad biológica (Abad et al., 2004). La asimilación de los nutrientes se ve muy afectada por el pH. Entre 5 y 6,5 la mayoría de los nutrientes están en su máximo nivel de asimilación, pero con valores por debajo de 5 pueden aparecer deficiencias de N, K, Ca o Mg.

b. Salinidad y conductividad eléctrica (CE)

La conductividad eléctrica se debe a la concentración de sales solubles presentes en la solución del sustrato, causando problemas de toxicidad cuando dichas sales se encuentran en elevadas proporciones debido a la presencia excesiva de algunos elementos o por aumento del potencial osmótico que causa dificultades en la planta para obtener agua.

La salinidad puede estar alta debido también a la presencia de fertilizantes insolubles, siendo la cantidad de sales que se aportan con el agua de riego sea superior a la absorbida por la planta, o bien cuando el sustrato tiene una elevada CIC.

El aumento de sales en un sustrato que puede ser corregido o prevenido mediante una

lixiviación con agua de buena calidad, aunque se puede tener húmedo el sustrato, evitar la aplicación de fertilizantes en polvo cuando el sustrato esté seco e incrementando la humedad relativa.

Bunt (1988) establece unos niveles de salinidad medida como conductividad eléctrica dSm-1 en el extracto de saturación:

- <0,74: Muy bajo.
- 0,75-1,99: Apropiado para la germinación de semillas y crecimiento de las plántulas.
- 2,00-3,50: Satisfactorio para la mayoría de las plantas.

c. Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

Burés (1997) afirma que, “la capacidad de intercambio catiónico es la capacidad de un sustrato de absorber e intercambiar iones”, también se la puede definir como la capacidad que tiene un sustrato o un material para absorber e intercambiar iones (calcio, magnesio, potasio y sodio, medidos en miliequivalentes o centimoles por kilo) por unidad de peso o volumen, es muy importante que el sustrato no presente dificultades para rehumedecerlo. Se ha encontrado que algunos componentes, como la turba y la corteza se pueden transformar en compuestos hidrofóbicos si se les deja secar excesivamente.

La CIC está estrechamente relacionada con el pH, teniendo una relación directamente proporcional siendo mientras más alta la CIC en el sustrato mayor será la fertilidad potencial del mismo.

El valor óptimo de esta propiedad va a depender de la frecuencia del fertirriego, encontrándose que si la fertirrigación es permanente, la CIC no representa una ventaja, recomendándose el uso de materiales inertes con baja o nula CIC. Lo contrario si la fertirrigación es intermitente, los sustratos con media elevada CIC son una ventaja ya que son reservas de nutrientes. Los nutrientes aplicados durante la fertilización, pueden ser retenidos por esas partículas cargadas eléctricamente hasta que sean absorbidas por el sistema radicular.

d. Relación carbono-nitrógeno (C/N)

Se la puede definir como la relación del porcentaje de carbono orgánico y nitrógeno total del sustrato. La relación C/N es un indicador del origen, del grado de madurez y de la estabilidad de la materia orgánica; ya que su valor depende del material y disminuye con la fermentación de la materia orgánica es decir con el compostaje.

Burés (1997) indica que si la relación C/N es inferior a 20 se considera un sustrato maduro y estable, por lo contrario si se obtiene un sustrato inmaduro, podrán aparecer problemas de inmovilización del nitrógeno o a una baja disponibilidad de oxígeno en la rizosfera, todo ello debido a la actividad microbiana (Abad et al., 2004).

Masaguer y López (2006) mencionan que una relación C/N óptima esta entre 10 y 20.

3. Propiedades biológicas de los sustratos

Las características biológicas de los sustratos han sido poco estudiadas, no obstante Hartmann et al. (1976), citados por Fernández, M (2010), mencionan que los sustratos necesitan tener además de buenas características físicas y químicas, características biológicas como presencia de microorganismos: micorrizas, rizobium y acetobacter, para ayudar al proceso de descomposición de compuestos orgánicos.

a. Velocidad de descomposición

Todos los sustratos orgánicos son susceptibles de descomposición biológica, que además se ve favorecida por las condiciones ambientales que se dan en los invernaderos. Esta degradación microbiana puede finalizar en deficiencias de oxígeno y nitrógeno, liberación de sustancias fitotóxicas y contracción del sustrato. Por lo que se necesita tener un correcto proceso de descomposición adecuado y así minimizar los efectos sobre las plantas (Fernández, M. 2010).

La velocidad de descomposición está condicionada por la disponibilidad de elementos

biodegradables, como carbohidratos, ácidos grasos o proteínas, por lo que ésta puede reducirse por medio del compostaje o manteniendo niveles suficientes de nitrógeno asimilable. Raviv et al., (1986) citado por Fernández, M (2010) menciona que hay que tener en cuenta tener la duración del cultivo ya que cuanto más largo sea, será más recomendable el uso de sustratos estables como la corteza de tamaño grueso.

b. Productos de descomposición

En el caso de la lignina y la celulosa, sus principales productos de descomposición son los ácidos húmicos y fúlvicos (Fernández, M 2010). Estas sustancias afectan positivamente a diferentes funciones vegetales y además, las sustancias húmicas pueden actuar como transportadores de micronutrientes para las plantas. La corteza de las especies forestales y específicamente refiriéndonos a la corteza de Pino, al estar compuesta de lignina es un producto sujeto a descomposición.

c. Residuos forestales

El residuo forestal más conocido, utilizado en los viveros y contenedores es la corteza de pino molda, la cual presenta gran estabilidad y aireación, debe estar triturada en pequeñas partículas y se puede mezclar con turba en diferentes cantidades.

Además de la corteza de pino se utiliza el aserrín siempre que no provenga de maderas tratadas con productos tóxicos para las plantas.

E. COMPOSTAJE

El compostaje es un método eficiente en la eliminación de estos residuos ya que permite además el aprovechamiento del producto final (Boulter et al., 2000). Según Altamirano y Cabrera (2006), al compostaje se lo puede definir como una forma de tratamiento para los residuos orgánicos, que será transformado en un producto útil aplicable a la tierra como abono.

Según la Organización Panamericana de la Salud (OPS) (2010), el compostaje se define como la biodegradación de la materia orgánica, mientras que Álvarez (2010) define a este

proceso como “descomposición biológica y estabilización de la materia orgánica, bajo condiciones que permitan un desarrollo de temperaturas termófilas como consecuencia de una producción biológica de calor, que da un producto final estable, libre de patógenos y semillas de malas hierbas y que aplicado al terreno produce un beneficio”.

Existen 2 tipos de compostaje los cuales se diferencian en la presencia o ausencia de oxígeno resultando los siguientes compostajes:

1. Compostaje aeróbico

OPS (1999) este tipo de compostaje predomina los metabolismos respiratorios y la diferenciación de varias etapas mesotérmicas (10 – 40 °C) con etapas termogénicas (40 – 75°C) y con la participación de microorganismos mesófilos y termófilos respectivamente.

El aumento de la temperatura es consecuencia de la degradación microbiana producto de la actividad metabólica de diferentes grupos fisiológicos participantes en el proceso de compostaje. Durante la evolución del proceso se produce una sucesión natural de poblaciones de microorganismos que difieren en sus características nutricionales (químico heterótrofos y químico autótrofos), entre los que se establecen efectos sintróficos y nutrición cruzada.

Debemos distinguir en una pila o camellón dos regiones o zonas:

- La zona central o núcleo de compostaje, que es la que está sujeta a los cambios térmicos más evidentes
- La corteza o zona cortical que es la zona que rodea al núcleo y cuyo espesor dependerá de la compactación y textura de los materiales utilizados.

a. Etapa de latencia

Es la etapa de inicio desde la elaboración de las pilas hasta el aumento abrupto de temperatura, con respecto a la temperatura inicial del material. Esta etapa, es notoria cuando el material ingresa fresco al compostaje.

La duración de esta etapa dependerá de numerosos factores, como el balance en la relación C/N, el pH y la concentración parcial de oxígeno. Con temperatura ambiente entre los 10 y 12 °C, en pilas adecuadamente conformadas, esta etapa puede durar de 24 a 72 horas.

b. Etapa mesotérmica 1 (10°C – 40°C).

En esta etapa se destacan las fermentaciones producto del metabolismo de la micro flora mesófila. Actúan actinomicetos, dan proceso de nitrificación y oxidación de compuestos reducidos de azufre, fosforo, etc.

En esta etapa es sensible la humedad y aireación en el compost, la actividad microbiana aumenta la temperatura paulatinamente. La duración de esta etapa es variable, depende también de numerosos factores.

c. Etapa termogénica (40°C – 75°C)

La micro flora mesófila es sustituida por la termófila causada por la acción de bacilos y actinomicetos termófilos. Normalmente en esta etapa, se eliminan todos los mesófilos patógenos, hongos, esporas, semillas y elementos biológicos indeseables.

El CO₂ se produce en volúmenes importantes que difunden desde el núcleo a la corteza. Este gas, juega un papel fundamental en el control de larvas de insectos. La corteza y más en aquellos materiales ricos en proteínas, es una zona donde se produce la puesta de insectos, la concentración de CO₂ alcanzada resulta letal para las larvas. Conforme el ambiente se hace totalmente anaerobio, los grupos termófilos intervinientes entran en fase de muerte.

Como esta etapa es de gran interés para la higienización del material, es conveniente su prolongación hasta el agotamiento de nutrientes.

d. Etapa mesotérmica 2

Cuando las reservas de nutrientes, hablando específicamente de carbono y nitrógeno desaparecen los microorganismos termófilos y empieza el descenso de la temperatura, donde la temperatura es inferior a los 40°C y reaparecen los microorganismos mesófilos y degradaran los materiales sobrantes de la biodegradación como la celulosa y lignina.

Esta es la etapa final que se conoce como la etapa de maduración y puede durar por numerosos factores, la temperatura descenderá hasta que esté cercana a la temperatura ambiente, se dice que al alcanzar esta fase el material está estable y acabo el proceso de compostaje.

2. Compostaje anaerobio

El compostaje anaerobio se lo puede definir como el proceso de descomposición de la materia orgánica que no involucra oxígeno, absteniéndose como productos metabólicos metano, dióxido de carbono y numerosos compuestos orgánicos de bajo peso molecular como ácidos y alcoholes.

El compostaje anaerobio por su complejidad se utiliza con menor frecuencia que el compostaje aerobio, pero son también de importancia ya que generar biogás a partir de residuos humanos, animales, agrícolas y residuos sólidos urbanos.

3. Sistemas de compostaje

OPS (2009), menciona que existen diferentes sistemas de compostaje, teniendo el mismo objetivo de transformar los residuos orgánicos en un material útil.

a. Sistema en camellones o parvas

Parvas, camellones o pilas es la denominación que se le da a la masa de residuos en compostaje cuando la misma presenta una morfología y dimensiones determinadas. A los sistemas donde se procesa el material mediante la conformación de estas estructuras se le

denomina Sistema en Parvas o Camellones.

De acuerdo al método de aireación utilizado, este sistema se subdivide además en:

-Sistema en parvas o camellones móviles: Cuando la aireación y homogenización se realiza por remoción y reconfiguración de las parvas.

-Sistema de camellones o parvas estáticas: Cuando la aireación se realiza mediante instalaciones fijas, en las áreas o canchas de compostaje (Métodos Beltsville y Rutgers), que permiten realizar una aireación forzada sin necesidad de movilizar las parvas.

b. Sistema en reactores

Los residuos orgánicos son procesados en instalaciones que pueden ser estáticas o dinámicas que se conocen como Reactores. Básicamente los reactores son estructuras por lo general metálicas: cilíndricas o rectangulares, donde se mantienen controlados determinados parámetros (humedad y aireación) procurando que los mismos permanezcan en forma relativamente constante. Los reactores móviles además, posibilitan la mezcla continua de los desechos mediante dispositivos mecánicos, con lo que se logra un proceso homogéneo en toda la masa de compostaje.

Este tipo de sistemas permite acelerar las etapas iniciales del proceso denominadas incorrectamente “fermentación”. Finalizadas estas etapas activas biológicamente, el material es retirado del reactor y acopiado para que se cumpla la “maduración”. Los sistemas de compostaje en reactores son siempre sistemas industriales.

Se aplican en aquellas situaciones donde diariamente se reciben volúmenes importantes de desechos y para los cuales sería necesario disponer de superficies muy extensas.

c. Diseño del Camellón o Parva

No es aceptable la conformación de parvas o camellones de pequeños volúmenes, ya que las fluctuaciones de temperatura en estos pequeños volúmenes son muy bruscas. Como regla general se toma como altura la mitad de la base, lo que nos permitirá obtener una

buena relación Superficie/Volumen.

F. FASES DEL COMPOSTAJE SEGÚN FAO (2013)

Roman, P., Martinez, M & Pantoja, A (2013) autores del manual de compostaje del agricultor de la FAO definen al compostaje como “un proceso biológico, que ocurre en condiciones aeróbicas (presencia de oxígeno). Con la adecuada humedad y temperatura, se asegura una transformación higiénica de los restos orgánicos en un material homogéneo y asimilable por las plantas”

Es posible interpretar el compostaje como el sumatorio de procesos metabólicos complejos realizados por parte de diferentes microorganismos, que en presencia de oxígeno, aprovechan el nitrógeno (N) y el carbono (C) presentes para producir su propia biomasa. En este proceso, adicionalmente, los microorganismos generan calor y un sustrato sólido, con menos C y N, pero más estable, que es llamado compost. (Roman, P., Martinez, M & Pantoja, A 2013)

Al descomponer el C, el N y toda la materia orgánica inicial, los microorganismos desprenden calor medible a través de las variaciones de temperatura a lo largo del tiempo. Según la temperatura generada durante el proceso, se reconocen tres etapas principales en un compostaje, además de una etapa de maduración de duración variable. Las diferentes fases del compostaje se dividen según la temperatura, en:

1. Fase Mesófila

Es la primera fase donde comienza a temperatura ambiente y cuestión de días o incluso horas alcanza hasta los 45°C. Este aumento de temperatura es debido a actividad microbiana, ya que en esta fase los microorganismos utilizan las fuentes sencillas de C y N generando calor. La descomposición de compuestos solubles, como azúcares, produce ácidos orgánicos y, por tanto, el pH puede bajar (hasta cerca de 4.0 o 4.5). Esta fase dura pocos días (entre dos y ocho días).

2. Fase Termófila o de Higienización.

Roman, P., Martinez, M & Pantoja, A (2013), definen esta fase cuando el material alcanza temperaturas mayores que los 45°C, los microorganismos que se desarrollan a temperaturas medias (microorganismos mesófilos) son reemplazados por aquellos que crecen a mayores temperaturas, en su mayoría bacterias (bacterias termófilas), que actúan facilitando la degradación de fuentes más complejas de C, como la celulosa y la lignina. Estos microorganismos actúan transformando el nitrógeno en amoníaco por lo que el pH del medio sube. En especial, a partir de los 60 °C aparecen las bacterias que producen esporas y actinobacterias, que son las encargadas de descomponer las ceras, hemicelulosas y otros compuestos de C complejos.

Esta fase puede durar desde unos días hasta meses, según el material de partida, las condiciones climáticas, del lugar y otros factores. Esta fase también recibe el nombre de fase de higienización ya que el calor generado destruye bacterias y contaminantes de origen fecal como *Escherichia coli* y *Salmonella spp.* Esta fase es importante pues las temperaturas por encima de los 55°C eliminan los quistes y huevos de helminto, esporas de hongos fitopatógenos y semillas de malezas que pueden encontrarse en el material de partida, dando lugar a un producto higienizado.

3. Fase de Enfriamiento o Mesófila II

Agotadas las fuentes de carbono y, en especial el nitrógeno en el material en compostaje, la temperatura desciende nuevamente hasta los 40-45°C. Durante esta fase, continúa la degradación de polímeros como la celulosa, y aparecen algunos hongos visibles a simple vista. Al bajar de 40 °C, los organismos mesófilos reinician su actividad y el pH del medio desciende levemente, aunque en general el pH se mantiene ligeramente alcalino. Esta fase de enfriamiento requiere de varias semanas y puede confundirse con la fase de maduración.



Figura 1. Hongo indicador de la fase mesófila II

Fuente: M.M. Martínez. CATA-USM, Chile.

4. Fase de Maduración

Es un período que demora meses a temperatura ambiente, durante los cuales se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización de compuestos carbonados para la formación de ácidos húmicos y fúlvicos. (Román, P., Martínez, M & Pantoja, A 2013).

IV. MATERIALES Y METODOS

A. CARACTERISTICAS DEL LUGAR

1. Localización

El presente estudio se realizó en el vivero forestal “Los Ángeles” perteneciente a la empresa NOVOPAN DEL ECUADOR S.A. Ubicado en el recinto Los Ángeles, parroquia Patricia Pilar, cantón Buena Fé, provincia de Los Ríos.

2. Ubicación geográfica

Datum WGS84 Zona 17 S

Coordenadas UTM

X = 665839

Y = 9928882

Altura = 139 msnm.

3. Características climatológicas

Temperatura promedio anual: 29.7 °C

Precipitación promedio anual: 326,45 mm

Velocidad del viento: 24.1 Km/h

4. Clasificación ecológica

Según Cañadas. F., (1983), la clasificación de la zona de vida del sitio corresponde a Bosque Húmedo Tropical.

5. Características del suelo

Textura: Franco arcilloso

Topografía: Con pendientes irregulares hasta el 20%.

Fuente: (Estación Meteorológica “Los Ángeles”)



Figura 2. Mapa General de la parroquia Patricia Pilar.

Fuente: ASEPROVE (2014)

B. MATERIALES Y EQUIPOS

1. Equipos y herramientas

Durante la investigación se utilizó los siguientes equipos y materiales: Corteza de pino molida, termómetro digital, balanza digital, cajón de sustrato, pala punta cuadrada, regadera, plásticos, recipientes plásticos, etiquetas de plástico, cámara fotográfica, libreta de campo, hojas de papel bond, marcadores, lápices, esferos, computadora, impresora y Microsoft office.

2. Insumos

Activos biológicos; Bioprot, biofung, melaza y urea.

C. METODOLOGÍA

La presente investigación se llevó a cabo mediante la compilación de información, usando técnicas de investigación bibliográfica y de campo, en un nivel exploratorio, descriptivo, analítico, y sus objetivos fueron cumplidos de la siguiente manera:

1. Para el cumplimiento del primer objetivo: Análisis químico del sustrato antes y después del proceso de descomposición

1.1. Reconocimiento del lugar de trabajo

La presente investigación se realizó en el vivero forestal “Los Ángeles” perteneciente a la empresa NOVOPAN DEL ECUADOR S.A., donde existe un lugar destinado al acopio del sustrato de corteza de pino molida y su posterior proceso de descomposición. Se usó una parte del área de dicho centro de acopio del vivero forestal “Los Ángeles” para el establecimiento de las unidades experimentales de la presente investigación.

a. Elaboración del cajón de sustrato

Las unidades experimentales consistieron en pilas de sustrato con un volumen de 1m^3 . Se necesitó la elaboración del siguiente cajón:



Figura 3. Cajón de sustrato de 1m^3
Elaboración: Gallardo, P (2018)

El cajón contó con una puerta para poder abrirla mientras se rellena, además constó de cuatro ruedas, una en cada esquina inferior para poder transportar el sustrato hasta el área designada.

El cajón de sustrato se utilizó para establecer 15 pilas de sustratos en el área de investigación, siendo cada pila la unidad experimental en donde se aplicará las respectivas dosificaciones y se llevará a cabo el monitoreo durante el proceso de compostaje.

b. Establecimiento de las unidades experimentales

En el centro de acopio para el sustrato de pino molido anteriormente mencionado, se necesitó organizar y limpiar el área asignada para poder establecer las 15 pilas de sustrato de 1m^3 , teniendo un distanciamiento aproximado de 2 metros entre cada pila de sustrato.

Se realizó un distanciamiento aproximado de 2 metros entre cada pila de sustrato, para facilitar la realización de riegos, volteos, toma de temperaturas diarias y demás actividades que se llevaron a cabo dentro del proceso de compostaje, teniendo un nivel óptimo de trabajo.

c. Determinación de los tratamientos (Dosificación)

Se estableció la dosificación y los tratamientos a partir de la dosificación base usada en el vivero forestal “Los Ángeles” perteneciente a la empresa NOVOPAN DEL ECUADOR S.A., la cual es la siguiente:

Tabla 5. Dosificación base usada en el vivero forestal "Los Ángeles"

| INSUMO | UNIDAD | CANTIDAD |
|---------|-----------------|----------|
| Urea | kilogramo (Kg) | 3,18 |
| Melaza | mililitros (mL) | 2 000 |
| Bioprot | mililitros (mL) | 400 |
| Biofung | mililitros (mL) | 100 |

Elaboración: Gallardo, P (2018)

En base a la dosificación usada en el vivero forestal “Los Angeles”, se establecieron los siguientes tratamientos:

Tabla 6. Tratamientos para el proceso de descomposición de la corteza de pino molida

| TRATAMIENTO 1 | TRATAMIENTO 2 | TRATAMIENTO 3 | TRATAMIENTO 4 | TESTIGO |
|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Urea = 3,18 Kg | Urea = 3,18 Kg | Urea = 3,18 Kg | Urea = 3,18 Kg | Urea = 3,18 Kg |
| Melaza = 2000 mL | Melaza = 2000 mL | Melaza = 2000 mL | Melaza = 2000 mL | Melaza = 2000 mL |
| Bioprot = 200 mL | Bioprot = 400 mL | Bioprot = 600 mL | Bioprot = 800 mL | Bioprot = 0 mL |
| Biofung = 100 mL | Biofung = 100 mL | Biofung = 100 mL | Biofung = 100 mL | Biofung = 0 mL |

Elaboración: Gallardo, P (2018)

Cada tratamiento constó de 3 repeticiones por lo que se realizó 15 pilas de sustrato de 1

m³, en donde el tratamiento 2 (T2) es la dosificación usada en la empresa NOVOPAN DEL ECUADOR S.A. y el testigo o tratamiento 5 (T5) será el testigo al que no se le aplicará ningún activo biológico.

d. Sorteo y aplicación del diseño estadístico, (Diseño completo al azar)

Se estableció un diseño completamente al azar (DCA) para determinar si existe una diferencia significativa entre los tratamientos planteados, obteniendo un total de 5 tratamientos, 3 repeticiones dando un total de 15 unidades experimentales.

Con las unidades experimentales ya establecidas, se procedió a sortear los tratamientos, posicionándose de la siguiente manera:

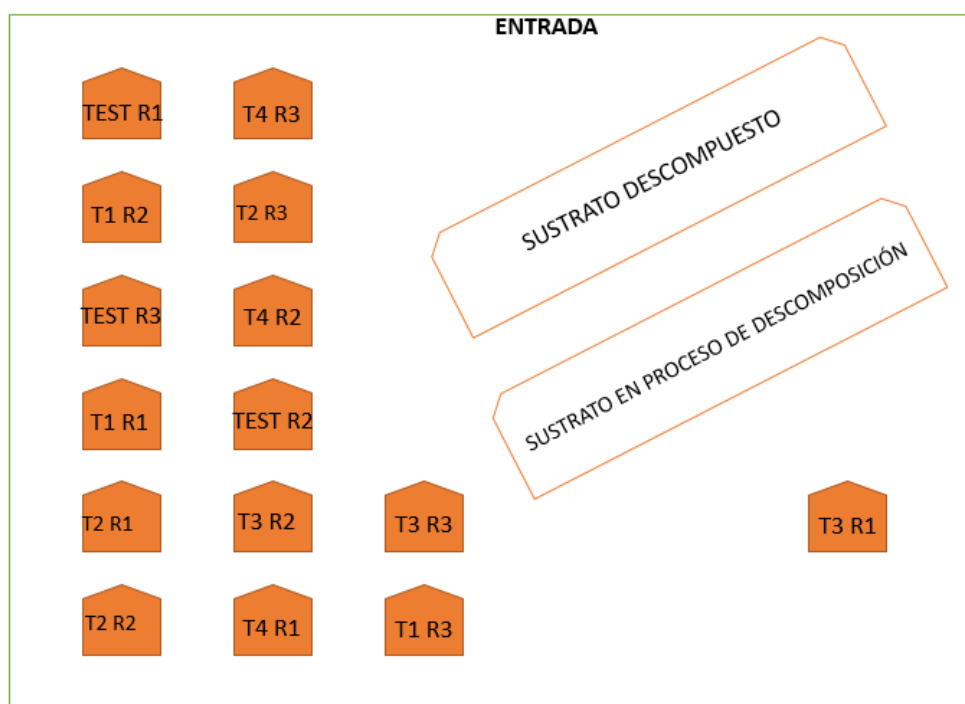


Figura 4. Mapa de los tratamientos

Elaboración: Gallardo, P (2018)

Cabe recalcar que se ubicaron las pilas de sustrato (unidades experimentales) de acuerdo a la disponibilidad de espacio existente en el lugar de investigación.

1.2. Proceso de descomposición de corteza de pino molida

a. Análisis de relación carbono/nitrógeno del sustrato antes del proceso de descomposición

Para el análisis químico del sustrato se utilizó el análisis de determinaciones especiales: Carbono-Nitrógeno (C/N) antes del proceso de descomposición y aplicación de los tratamientos en donde se necesitó de una muestra. Se estableció tener solo una muestra porque se tiene un sustrato homogéneo el cual no ha sido sometido a ningún proceso de descomposición ni aplicación de productos, por lo cual al comparar con los resultados que obtuvimos en los análisis que fueron durante y después del proceso de descomposición, llegaremos a las conclusiones del presente proyecto.

b. Primera aplicación de los insumos requeridos en el proceso de descomposición

- 1) Se realizó una solución mezclando Bioprot y melaza, con las dosis anteriormente mencionadas, diluido en un tanque de 100 L de agua, variando la dosificación de Bioprot y Biofung por cada tratamiento y repetición de las unidades experimentales. Cada solución mezclada en el tanque de 100L fueron destinadas para 2m³ es decir para cada pila o montículo de sustrato se necesitó de 50L de solución.
- 2) Se aplicó 7 libras de urea en todos los tratamientos y unidades experimentales, esparciéndola al voleo en las pilas y luego volteando el sustrato con el fin de esparcir el insumo uniformemente en toda la pila.

c. Actividades suplementarias para acelerar el proceso de descomposición

- Tapado de las pilas de sustrato

Se procedió a cubrir el sustrato, con la finalidad de aumentar la temperatura y conservar la humedad de la pila del sustrato, obteniendo así un adecuado proceso de descomposición y mejorando las condiciones de desarrollo de los microorganismos.

- Volteo del sustrato

Se realizó el volteo de todas las pilas de sustrato de forma quincenal, con esta técnica se busca mejorar las condiciones aerobias del sustrato, además de favorecer a la homogenización de la temperatura y humedad.

- Riego

Se realizó riegos al sustrato tomando en cuenta la capacidad de campo, evaluándolo con la llamada técnica del “puño cerrado”, que consiste en introducir la mano en la pila, sacar un puñado de material y abrir la mano. El material debe quedar apelmazado pero sin escurrir agua.

Si escurre agua significa que el material está muy mojado y si las partículas de la corteza de pino se desmoronan, está seco y necesita de riego.

d. Segunda aplicación de los insumos requeridos en el proceso de descomposición

Para la segunda aplicación de los insumos se aplicaron los mismos productos de la primera aplicación, cambiando la dosis, en donde se aplicó la mitad de la dosis de todos los productos que se aplicaron inicialmente.

Variando la cantidad del activo biológico (Bioprot), por cada tratamiento como se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 7. Segunda dosificación de insumos para el proceso de descomposición de corteza de pino molida

| TRATAMIENTO 1 | TRATAMIENTO 2 | TRATAMIENTO 3 | TRATAMIENTO 4 | TESTIGO |
|------------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|
| Urea = 3,18 Kg | Urea = 3,18 Kg | Urea = 3,18 Kg | Urea = 3,18 Kg | Urea = 3,18 Kg |
| Melaza = 1000 mL | Melaza = 1000 mL | Melaza = 1000 mL | Melaza = 1000 mL | Melaza = 1000 L |
| Bioprot = 100 mL | Bioprot = 200 mL | Bioprot = 300 mL | Bioprot = 400 mL | Bioprot = 0 mL |

Elaboración: Gallardo, P (2018)

e. Desinfección del sustrato (Aplicación de Biofung)

Una vez transcurrido el proceso de compostaje que duró 3 meses además de las 2 aplicaciones de los insumos requeridos para la descomposición, se aplicó el segundo activo Biofung, con el fin de higienizar el sustrato desinfectándolo, eliminando así los posibles patógenos presentes en el sustrato.

El segundo activo biológico Biofung es una mezcla de soluciones muy concentradas de varias cepas vivas y esporas de *Trichoderma sp.* La solución contiene estabilizadores y micro partículas de almidones con nutrientes para que nuevas colonias se formen rápidamente y hagan su efecto cortamente luego de su aplicación, actuando en patógenos del suelo, siendo así protectante y erradicador de hongos y bacterias de amplio espectro

Se aplicó la siguiente dosis para higienizar el sustrato de todos los tratamientos:

Tabla 8. Dosificación del segundo activo biológico Biofung

| TRATAMIENTO 1 | TRATAMIENTO 2 | TRATAMIENTO 3 | TRATAMIENTO 4 | TESTIGO |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------------|
| Biofung= 100 mL | Biofung= 100 mL | Biofung= 100 mL | Biofung= 100 mL | Biofung= 0 mL |

Elaboración: Gallardo, P (2018)

1.3. Monitoreo durante el proceso de descomposición de corteza de pino molido

a. Registro diario de temperatura, pH y humedad

Se elaboró un registro diario de temperatura, pH y humedad, donde se toma los datos 3 veces al día en el siguiente horario:

Primer registro: 8:00 am

Segundo registro: 12:00 pm

Tercer registro: 4:00 pm

El formato para el registro de temperatura y humedad se muestra en la figura N° 10.

b. Análisis químico de determinaciones especiales: Carbono-Nitrógeno (Relación C/N)

Se realizó el análisis de determinaciones especiales, relación Carbono-Nitrógeno (C/N) en el laboratorio de suelos, tejidos vegetal y aguas, perteneciente a la estación experimental tropical “Pichilingue”, del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP).

Para los análisis de relación C/N quincenales se necesitaron de 5 muestras, ya que el presente proyecto cuenta con 5 tratamientos, en donde se tomaron sub-muestras de cada unidad experimental y se combinaron las sub-muestras de las repeticiones que tuvieron los mismos tratamientos.

Se tomaron uniformemente en todas las unidades experimentales a una profundidad de 30 cm de distancia entre la superficie hacia el centro de la pila de sustrato.

1.4. Evaluación de los tratamientos

Para la evaluación de la dosificación de dos activos biológicos (bioprot y biofung) en el proceso de descomposición de sustrato de corteza de pino molida, se tomaron en cuenta las siguientes variables:

- 1) Temperatura
- 2) Potencial hidrogeno (pH)
- 3) Relación carbono/nitrógeno

a. Análisis de relación carbono/nitrógeno

La elección del mejor material o el sustrato más compostado se evaluó en base a la relación carbono – nitrógeno (C/N) que determina el nivel de madurez en el proceso de compostaje. Lo ideal es tener una relación C/N de 10 - 20 en la materia orgánica.

b. Determinación de potencial hidrogeno (pH)

Para los análisis de pH se necesitaron de 5 muestras, ya que el presente proyecto cuenta con 5 tratamientos, en donde se tomaron sub-muestras de cada unidad experimental y se combinaran las sub-muestras de las repeticiones que tuvieron los mismos tratamientos.

Se tomaron uniformemente en todas las unidades experimentales a una profundidad de 30 cm de distancia entre la superficie hacia el centro de la pila de sustrato.

Según Abad (2004) el pH ejerce sus efectos principales sobre la asimilación de los nutrientes, la capacidad de intercambio catiónico y la actividad biológica, siendo los valores óptimos 5 y 6,5 en donde los nutrientes se encuentran en su máxima solubilidad y estando por debajo de 5, se encontrará deficiencias de nutrientes. Mediante la siguiente tabla se estableció el tipo de sustrato que se obtuvo de los análisis.

Tabla 9. Interpretación de pH

| pH | INTERPRETACIÓN |
|------------|-----------------------|
| < 4,5 | Extremadamente ácido |
| 4,5 – 5,0 | Muy fuertemente ácido |
| 5,1 – 5,5 | Fuertemente ácido |
| 5,6 – 6,0 | Medianamente ácido |
| 6,1 – 6,5 | Ligeramente ácido |
| 6,6 – 7,3 | Neutro |
| 7,4 – 7,8 | Medianamente básico |
| 7,9 – 8,4 | Moderadamente básico |
| 8,5 – 9,0 | Ligeramente básico |
| 9,1 – 10,0 | Alcalina |
| > 10,0 | Fuertemente alcalino |

Fuente: Rioja Molina, A. (2.002), Apuntes de Fitotecnia General, E.U.I.T.A., Ciudad Real

2. Para el cumplimiento del segundo objetivo análisis económico del proceso de descomposición de corteza de pino molido.

Se realizó un análisis económico, evaluando los costos de producción que en síntesis es la valoración monetaria que se necesita para producir un bien que en este caso es el costo de producción por metro cúbico de sustrato de corteza de pino molida.

Los costos de producción a analizar serán los siguientes:

Tabla 10. Costos de producción para análisis económico del proceso de descomposición del sustrato de corteza de pino molida

| COSTOS DE PRODUCCIÓN | DESCRIPCIÓN |
|------------------------|--|
| TIERRA O MATERIA PRIMA | Corteza de pino molida, activos biológicos, productos y subproductos. |
| TRABAJO O MANO DE OBRA | Coste total del trabajador (es) que se necesiten en todo el proceso de la descomposición de pino molido. |
| INSUMOS | Todos los insumos requeridos en el proceso de compostaje de la corteza de pino molida |

Elaboración: Gallardo, P (2018)

V. RESULTADOS

1. Análisis químico de sustrato antes y después del proceso de descomposición.

1.1. Fase termófila de la temperatura en la descomposición del sustrato

a. Análisis estadístico de la fase termófila de la temperatura en la descomposición del sustrato

Tabla 11. Análisis de varianza de la fase termófila de la variable temperatura

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|-------------|---------|-----|-------|------|----------|
| Modelo. | 183,61 | 4 | 45,90 | 2,56 | 0,0410 * |
| Tratamiento | 183,61 | 4 | 45,90 | 2,56 | 0,0410 |
| Error | 2598,36 | 145 | 17,92 | | |
| Total | 2781,97 | 149 | | | |
| CV | 9,60 % | | | | |

Elaboración: Gallardo, P (2018)

Según el análisis estadístico de la tabla 11 para la variable de la temperatura de acuerdo a los 4 tratamientos aplicados, se obtuvo un p-valor de 0,0410; determinando que existe diferencia significativa entre tratamientos, por ende se realizó la respectiva separación de medias aritméticas.

b. Separación de medias

Tabla 12. Separación de medias según Tukey al 5%

| TRATAMIENTO | Medias | n | |
|-------------|--------|----|---|
| T4 | 42,42 | 30 | A |
| T2 | 43,09 | 30 | A |
| T5 | 44,93 | 30 | A |
| T1 | 44,95 | 30 | A |
| T3 | 45,05 | 30 | A |

Elaboración: Gallardo, P (2018)

De acuerdo a la separación de medias según Tukey al 5%, para la temperatura por tratamiento/repetición, se determinó que el tratamiento 3 obtuvo el mayor promedio con

45,05 °C, seguido del tratamiento 1 con un promedio de 44,95 °C; mientras que el valor más bajo se obtuvo en el tratamiento 4 con un promedio de 42,72 °C; seguido del tratamiento 2 con 43,09 °C. Estadísticamente el tratamiento 3 y 5 son menores al tratamiento 1 y 3.

c. Análisis gráfico de la temperatura de los tratamientos por repetición

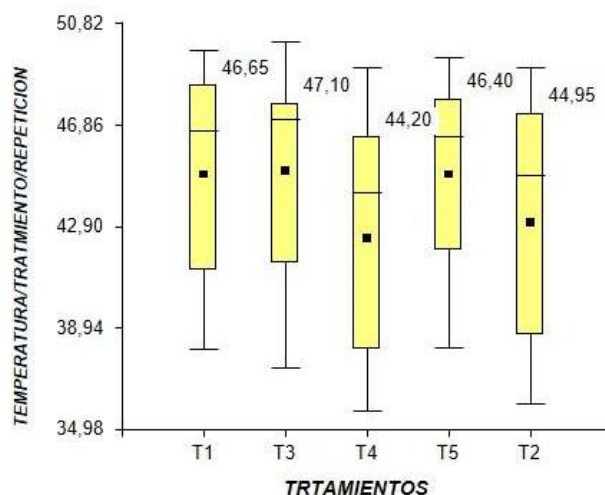


Figura 5. Temperatura alcanzada en la fase termófila.

Elaboración: Gallardo, P (2018)

Amner (1988), menciona en su investigación que al aplicar productos basados en *Trichoderma spp* y *Bacillus spp*, para la descomposición del sustrato de celulosa de *Pinus radiata*, la temperatura promedio en la fase termófila alcanzó un rango gradual de 40°-60° °C, lo cual generó una rápida y eficiente descomposición, esencialmente para la biodegradación y mineralización de los residuos biológicos. Por lo tanto en base a estos resultados se pudo corroborar en este trabajo, que los rangos de temperatura para la descomposición del sustrato adquirieron promedios aceptables, ya que el tratamiento 3 y 1 se obtuvo los promedios de 47,10 y 46,65 °C respectivamente, siendo estos los rangos óptimos de temperatura para la descomposición de un sustrato independientemente de su origen.

Hansgate et al., (2005), mencionan en su investigación que al aplicar *Trichoderma spp* y *Bacillus spp*, para la descomposición del sustrato de celulosa de *Pinus radiata*, la temperatura promedio en la fase termófila alcanzó un rango gradual de 60 °C, lo cual generó una rápida y eficiente degradación de la materia orgánica. Por lo tanto en base a

estos resultados se pudo comprobar en este trabajo que los rangos de temperatura adquirieron promedios aceptables para este proceso.

1.2. Fase mesófila II de la temperatura en la descomposición del sustrato

a. Análisis estadístico de la fase mesófila II de la temperatura en la descomposición del sustrato

Tabla 13. Análisis de varianza de la fase mesófila II de la variable temperatura

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|--------------|--------|-----|------|------|-----------|
| Modelo. | 18,23 | 4 | 4,56 | 4,05 | 0,0038 |
| Tratamientos | 18,23 | 4 | 4,56 | 4,05 | 0,0038 ** |
| Error | 168,56 | 150 | 1,12 | | |
| Total | 186,79 | 154 | | | |
| CV | 3,25% | | | | |

Elaboración: Gallardo, P (2018)

Según el análisis estadístico de la tabla 13, para la variable de la temperatura en la fase termófila, de acuerdo a los 5 tratamientos aplicados, se obtuvo un p-valor de 0,0038; con lo cual se apreció que existe diferencia significativa entre tratamientos, por ende se realizó la respectiva separación de medias aritméticas.

b. Separación de medias

Tabla 14. Separación de medias según Tukey al 5%

| Tratamientos | Medias | n | E.E. | | |
|--------------|--------|----|------|---|---|
| T3 | 32,24 | 31 | 0,19 | A | |
| T4 | 32,39 | 31 | 0,19 | A | |
| T2 | 32,60 | 31 | 0,19 | A | B |
| T5 | 32,77 | 31 | 0,19 | A | B |
| T1 | 33,23 | 31 | 0,19 | | B |

Elaboración: Gallardo, P (2018)

En la tabla 14, según la separación de medias según Tukey al 5%, para la temperatura por tratamiento/repetición, se determinó que el tratamiento 1 obtuvo el mayor promedio con 33,23 °C, seguido del tratamiento 5 con un promedio de 32,77 °C; mientras que el valor más bajo se obtuvo en el tratamiento 3 con un promedio de 32,24 °C; seguido del tratamiento 4 con 32,39 °C. Estadísticamente el tratamiento 3 y 4 son menores al tratamiento 1 y 5.

c. Análisis gráfico de la temperatura de los tratamientos por repetición

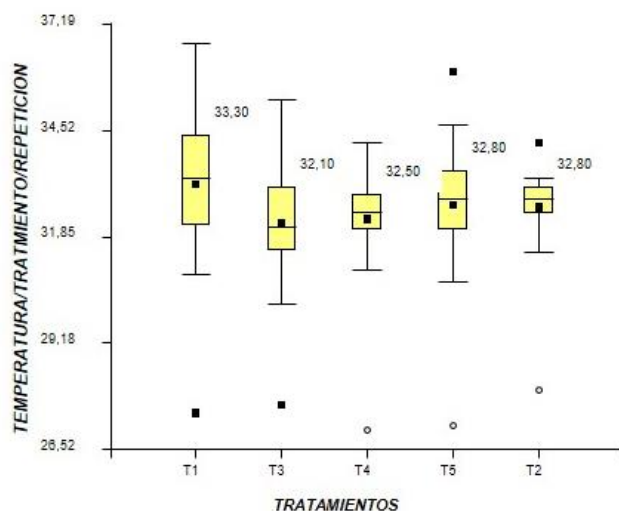


Figura 6. Temperatura alcanzada en la fase mesófila II.

Elaboración: Gallardo, P (2018)

Amner, (1988), menciona en su investigación que al aplicar *Trichoderma* y *Bacillus spp*, para la descomposición del sustrato de celulosa de *Pinus radiata*, la temperatura promedio en la fase mesófila II alcanzó un rango gradual de 40 - 45 °C. Por lo tanto en base a estos resultados se comprobó en este trabajo que los rangos de temperatura en esta fase se aproximaron al rango aceptable para la degradación del sustrato, puesto que el mayor promedio se obtuvo en el tratamiento 1 y 5 con 33,30 y 32,80 °C respectivamente, mientras que los promedios más bajos se obtuvieron en el tratamiento 3 y 4 con 32,10 y 32,50 °C. Estos datos nos permitieron determinar que los tratamientos 1 y 5 tuvieron más eficiencia en esta fase.

Hansgate et al., (2005), mencionan en su investigación que al aplicar *Trichoderma* y *Bacillus spp*, para la descomposición del sustrato de celulosa de *Pinus radiata*, la temperatura promedio en la fase mesófila II alcanzó un rango gradual de 45 °C, lo cual

generó una rápida y eficiente degradación de la materia orgánica. Por lo tanto en base a estos resultados se pudo comprobar en este trabajo que los rangos de temperatura adquirieron promedios aceptables para este proceso.

1.3. Fase de maduración de la temperatura en la descomposición del sustrato

a. Análisis estadístico de la fase de maduración de la temperatura en la descomposición del sustrato

Tabla 15. Análisis de varianza de la fase de maduración en la variable temperatura

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|--------------|--------|-----|-------|-------|-----------|
| Modelo. | 59,73 | 4 | 14,93 | 41,39 | <0,0001 |
| Tratamientos | 59,73 | 4 | 14,93 | 41,39 | <0,0001** |
| Error | 52,31 | 145 | 0,36 | | |
| Total | 112,04 | 149 | | | |
| CV | 2,04 % | | | | |

Elaboración: Gallardo, P (2018)

Según el análisis estadístico de la tabla N° 15, para la variable de la temperatura en la fase de maduración, de acuerdo a los 4 tratamientos aplicados, se obtuvo un p-valor de 0,001; con lo cual se apreció que existe diferencia alta mente significativa entre tratamientos, por ende se realizó la respectiva separación de medias aritméticas.

b. Separación de medias aritméticas

Tabla 16. Separación de medias según Tukey al 5%

| Tratamientos | Medias | n | E.E. | | |
|--------------|--------|----|------|---|---|
| T3 | 28,53 | 30 | 0,11 | A | |
| T5 | 29,17 | 30 | 0,11 | B | |
| T1 | 29,41 | 30 | 0,11 | B | C |
| T4 | 29,64 | 30 | 0,11 | | C |
| T2 | 30,46 | 30 | 0,11 | | D |

Elaboración: Gallardo, P (2018)

En la tabla N° 18, según la separación de medias según Tukey al 5%, para la temperatura por tratamiento/repetición, se determinó que el tratamiento 2 obtuvo el mayor promedio con 30,46 °C, seguido del tratamiento 4 con un promedio de 29,46 °C; mientras que el valor más bajo se obtuvo en el tratamiento 3 con un promedio de 28,53 °C; seguido del tratamiento 5 con 29,17 °C. Estadísticamente el tratamiento 3 y 5 son menores al tratamiento 3 y 5.

c. Análisis gráfico de la temperatura de los tratamientos por repetición

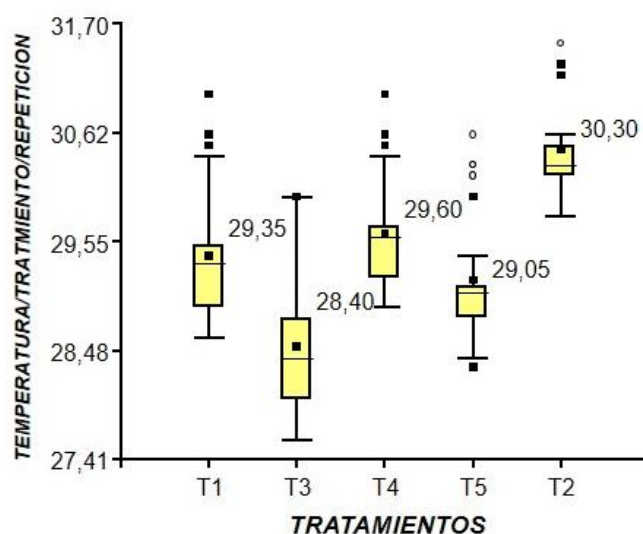


Figura 7. Temperatura alcanzada en la fase de maduración

Elaboración: Gallardo, P (2018)

Según Ammer (1988) en su ensayo, la temperatura en la fase de maduración aplicando Bioprot y Biofung, obtuvo una temperatura de 46 – 40 °C, generando resultados positivos para la producción de plántulas sin problemas fitopatológicos y con buenos niveles nutritivos. En referencia a estos resultados y los que se obtuvieron en este ensayo se comprobó que en esta fase los tratamientos aplicados generaron niveles térmicos aceptables para este proceso. Los rangos aceptables para esta fase son de 20 - 40 °C y de acuerdo a los resultados obtenidos se determinó que los promedios más altos se obtuvieron en los tratamientos 2 y 4 con 30,30 y 29,60° C mientras que los más bajos se generaron en los tratamientos 3 y 5 con 28,40 y 29,05 °C. Por lo tanto se pudo afianzar que todos los tratamientos se encontraron en el rango aceptable de temperatura para esta fase.

Inbar (1981) menciona que, la adición de un compost o sustrato inmaduro al suelo provoca una deficiencia de oxígeno, la inmovilización del nitrógeno e incrementa los problemas fitopatogénicos radiculares. Sin embargo, la adición de un compost maduro beneficia la fertilidad de un suelo, su estructura, e incrementa los efectos de control biológico; por lo tanto los rangos térmicos son importantes para una eficiente descomposición de un sustrato. Según lo mencionado anteriormente, se pudo corroborar que los resultados obtenidos estuvieron en el rango aceptable para el desarrollo de esta fase.

1.4. Análisis estadístico del pH en el sustrato en proceso de descomposición.

a. Análisis estadístico del pH en la descomposición del sustrato

Tabla 17. Análisis estadístico del pH por tratamiento/ repetición. Según Kruskal Willis en la variable pH.

| Variable | TRTAMIENTOS | Medias | D.E. | Medianas | H | p |
|-----------|-------------|--------|------|----------|------|--------|
| PROMEDIOS | T1 | 24 | 5,64 | 0,19 | 5,60 | 19,88 |
| PROMEDIOS | T3 | 24 | 5,55 | 0,28 | 5,60 | 0,0004 |
| PROMEDIOS | T4 | 24 | 5,48 | 0,19 | 5,50 | |
| PROMEDIOS | T5 | 24 | 5,36 | 0,23 | 5,30 | |
| PROMEDIOS | T2 | 24 | 5,58 | 0,18 | 5,50 | |

Elaboración: Gallardo, P (2018)

Según el análisis estadístico de la tabla N° 22, para la variable del pH, de acuerdo a los 5 tratamientos aplicados, se obtuvo un p-valor de 0,0006; con lo cual se determinó que existe una diferencia altamente significativa entre tratamientos, procediendo a realizar la respectiva separación de medias aritméticas.

b. Separación de medias aritméticas

Tabla 18. Separación de medias según Kruskal Willis del pH por tratamiento/repetición en la variable pH

| Trat. | Ranks |
|-------|-----------|
| T5 | 36,65 A |
| T4 | 54,75 A B |
| T3 | 64,98 B C |
| T2 | 67,38 B C |
| T1 | 78,75 C |

Elaboración: Gallardo, P (2018)

De acuerdo a la separación de medias según Kruskal Willis para el pH por tratamiento/repetición, se determinó que el tratamiento 1 obtuvo el mayor promedio con 78,75, seguido del tratamiento 2 con un promedio de 67,38, mientras que el valor más bajo se obtuvo en el tratamiento 5 con un promedio de 36,65. Estadísticamente el tratamiento 4 y 5 son menores al tratamiento 1. Ver tabla 18.

c. Análisis gráfico del pH de los tratamientos por repetición

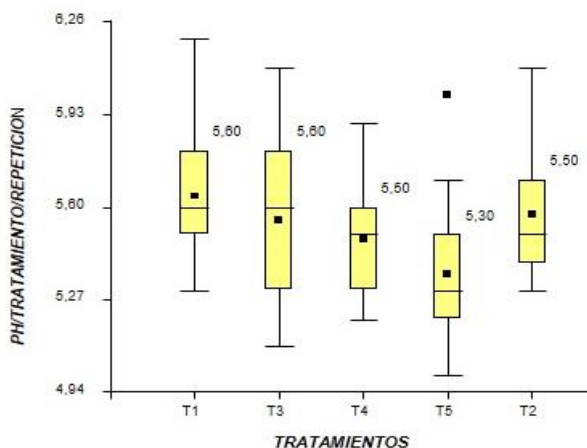


Figura 8. pH por tratamiento/repetición

Elaboración: Gallardo, P (2018)

Según Jaramillo & Zapata (2008), comprobaron en su investigación que los microorganismos del género *Trichoderma* y *Bacillus* para la descomposición de sustrato de celulosa de pino, los valores del pH fueron de 5.5 y 7.0, mientras que Abad (1993)

menciona que valores inferiores a 5 produjeron deficiencias de N, K, Ca, Mg y B; y los valores superiores a 6 problemas en la disponibilidad de Fe, P, Zn, Mn y Cu. Según lo mencionado anteriormente, se pudo comprobar en esta investigación que al aplicar Bioprot y Biofung se alcanzaron los rangos aceptables de pH para la descomposición del sustrato. Además se pudo apreciar que en los tratamientos 1 y 3 se obtuvo un promedio de 5,60 y 5,60 respectivamente, seguido de los tratamientos 4 y 2 con 5,50 y 5,50 respectivamente y el menor promedio en el tratamiento 5 con 5,30. Con lo cual se permitió determinar que todos los tratamientos alcanzaron rangos aceptables, pero los mejores promedios se dieron en los tratamientos 1 y 3.

Tinus, (1980), menciona que el pH óptimo para los sustratos de latifoliadas está entre 6 a 7, en cambio, el pH para sustratos de coníferas es más ácido y debe mantenerse entre 5 a 6; según estos resultados se corroboró en esta investigación que al aplicar los 4 tratamientos con Bioprot y Biofung para la descomposición del sustrato se logró obtener un rangos de pH aceptables, principalmente en los tratamientos 1 y 3, donde se obtuvo un pH de 5,60 siendo estos los más cercanos a un pH óptimo.

1.5. Análisis de la relación C/N en el sustrato en proceso de descomposición.

a. Análisis de los resultados de la relación C/N obtenidos en el INIAP.

Tabla 19. Análisis químico de la relación C/N por tratamiento

| Descripción | Primer análisis C/N | Segundo análisis C/N | Tercer análisis C/N | Cuarto análisis C/N |
|---------------|---------------------|----------------------|---------------------|---------------------|
| | Fecha: 27/04/2018 | Fecha: 10/05/2018 | Fecha: 04/06/2018 | Fecha: 02/07/2018 |
| Tratamiento 1 | 4.0 | 4.1 | 13.0 | 12.9 |
| Tratamiento 2 | 4.1 | 3.2 | 11.3 | 14.6 |
| Tratamiento 3 | 5.0 | 4.6 | 12.1 | 11.3 |
| Tratamiento 4 | 4.7 | 4.0 | 11.1 | 12.0 |
| Testigo | 3.4 | 3.4 | 10.9 | 15.2 |

Fuente: Laboratorio de suelos, aguas y tejidos vegetales del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), (2018)

De acuerdo a los resultados obtenidos en la tabla 15, se pudo apreciar un incremento y descenso gradual de resultados durante la fase de compostaje del sustrato, ya que según los resultados de los análisis químicos realizados quincenalmente se obtuvo lo siguiente: Los tratamientos con mayor promedio fueron el testigo con 15,2; tratamiento 2 con 14,6 y el tratamiento 1 con 12,9. Mientras que los de menor valor fueron el tratamiento con 12 y el tratamiento 3 con 11,3. Lo comprobado nos permitió determinar que los tratamientos con mejor resultado de esta variable fueron el testigo y el tratamiento 2.

b. Discusión de los resultados de relación C/N de cada tratamiento

Escobar. F, (2012), determinó en su investigación que al aplicar 8 tratamientos con materiales de origen orgánico para la descomposición de corteza de pino se obtuvo como resultado que en 5 tratamientos se logró una relación C/N de 25, lo cual está dentro del rango de referencia, mientras que en los tratamientos 2, 7 y 8 presentaron valores inferiores a 10. Según lo mencionado anteriormente permitió comprobar en este ensayo que al aplicar Bioprote y Biofung, por cada tratamiento alcanzó una relación C/N diferente en forma gradual, no obstante los tratamientos que mejor relación C/N alcanzaron al final de la investigación fueron el testigo y el tratamiento con un valor de (15,2) y (14,6) respectivamente. Mientras que los más bajos resultados se desarrollaron en los tratamientos 3 y 4 con 11,3 y 12 respectivamente.

En base a estos resultados se pudo confirmar que todos los tratamientos alcanzaron los rangos aceptables al final de este proceso, pero sin descartar que lo ideal es situar estos valores en cifras cercanas a 20 que es lo óptimo para un sustrato de calidad.

2. Análisis económico del proceso de descomposición de corteza de pino molida.

a. Mano de obra

Se consideró la mano de obra utilizada en todos los procesos pertinentes al compostaje de la corteza de pino molida durante los 3 meses que dura su descomposición, necesiándose del siguiente número de jornales en las siguientes actividades:

Tabla 20. Jornales necesarios en las actividades referentes al compostaje de corteza de pino molida

| ACTIVIDAD | JORNALES | COSTO (USD) |
|---|----------|-------------|
| Moler corteza de pino | 1 | 15 |
| Primera aplicación de Bioprot | 1 | 15 |
| Primer volteo del sustrato | 1 | 15 |
| Segunda aplicación de Bioprot | 1 | 15 |
| Segundo volteo del sustrato | 1 | 15 |
| Tercer volteo del sustrato | 1 | 15 |
| Cuarto volteo del sustrato | 1 | 15 |
| Desinfección del sustrato con aplicación de Biofung | 1 | 15 |
| COSTO TOTAL (USD) | | 120 |

Elaboración: Gallardo, P (2018)

b. Materia prima

En la presente investigación no se tomó en cuenta el costo de la materia prima que es la corteza de pino molida, ya que al ser un producto de desecho de la misma empresa no tiene un precio, a más de los jornales necesarios para moler la corteza que se detalló anteriormente. Tabla 20 es decir los costos de mano de obra.

c. Insumos

Se aplicaron los mismos insumos en todos los tratamientos variando únicamente en la dosis del primer activo biológico (Bioprot) en todos los tratamientos.

A continuación se detalla los costos de los insumos para la producción de un metro cúbico por tratamiento.

TRATAMIENTO 1**Tabla 21.** Costos de insumos del tratamiento 1

| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | UNIDAD | PRECIO (USD) |
|--------------|----------|------------|-----------------|
| Bioprot | 200,00 | mililitros | 5.60 |
| Biofung | 100,00 | mililitros | 2.80 |
| Melaza | 1000,00 | mililitros | 0.25 |
| Urea | 3,18 | Kilogramos | 3.15 |
| TOTAL | | | 11.80 |

Elaboración: Gallardo, P (2018)

TRATAMIENTO 2**Tabla 22.** Costos de insumos del tratamiento 2

| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | UNIDAD | PRECIO (USD) |
|--------------|----------|------------|-----------------|
| Bioprot | 200,00 | mililitros | 11.20 |
| Biofung | 100,00 | mililitros | 2.80 |
| Melaza | 1000,00 | mililitros | 0.25 |
| Urea | 3,18 | Kilogramos | 3.15 |
| TOTAL | | | 17.4 |

Elaboración: Gallardo, P (2018)

TRATAMIENTO 3

Tabla 23. Costos de insumos del tratamiento 3

| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | UNIDAD | PRECIO (USD) |
|--------------|----------|------------|-----------------|
| Bioprot | 200,00 | mililitros | 16.80 |
| Biofung | 100,00 | mililitros | 2.80 |
| Melaza | 1000,00 | mililitros | 0.25 |
| Urea | 3,18 | Kilogramos | 3.15 |
| TOTAL | | | 23.00 |

Elaboración: Gallardo, P (2018)

TRATAMIENTO 4

Tabla 24. Costos de insumos del tratamiento 4

| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | UNIDAD | PRECIO (USD) |
|--------------|----------|------------|-----------------|
| Bioprot | 200,00 | mililitros | 22.40 |
| Biofung | 100,00 | mililitros | 2.80 |
| Melaza | 1000,00 | mililitros | 0.25 |
| Urea | 3,18 | Kilogramos | 3.15 |
| TOTAL | | | 28.60 |

Elaboración: Gallardo, P (2018)

TESTIGO

Tabla 25. Costos de insumos del testigo

| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | UNIDAD | PRECIO (USD) |
|--------------|----------|------------|-----------------|
| Bioprot | 200,00 | mililitros | 0.00 |
| Biofung | 100,00 | mililitros | 2.80 |
| Melaza | 1000,00 | mililitros | 0.25 |
| Urea | 3,18 | Kilogramos | 3.15 |
| TOTAL | | | 6.20 |

Elaboración: Gallardo, P (2018)

d. Costos totales

Tabla 26. Costos totales por tratamiento

| TRATAMIENTO | MANO DE OBRA (USD) | INSUMOS (USD) | COSTO TOTAL (USD) |
|---------------|-----------------------|------------------|----------------------|
| Tratamiento 1 | 120 | 11.80 | 131.80 |
| Tratamiento 2 | 120 | 17.40 | 137.40 |
| Tratamiento 3 | 120 | 23.00 | 143.00 |
| Tratamiento 4 | 120 | 28.60 | 148.60 |
| Testigo | 120 | 6.20 | 126.20 |

Elaboración: Gallardo, P (2018)

Mediante el análisis de costos de producción de la corteza de pino se puede observar que el tratamiento más económico es el testigo con un costo de producción por metro cúbico

de 126.20 (USD) mientras que el tratamiento más costoso es el tratamiento 4 con un costo de 148.60 debido a la diferente dosificación del activo biológico Bioprot que se aplicaron en los tratamientos.

VIII. CONCLUSIONES

1. De acuerdo a los resultados obtenidos en los análisis estadísticos de las propiedades químicas del sustrato antes y después del proceso de descomposición se determinó que al aplicar los 4 tratamientos con Bioprot y Biofung, los rangos de temperatura en la fase termófila estuvieron dentro del rango aceptable, presentando la temperatura más óptima para esta fase el tratamiento 3, mientras que en la fase mesófila II el tratamiento 1 fue el que alcanzó el mejor valor en esta fase. En la fase de maduración los tratamientos 3 y 5 tuvieron el menor promedio, siendo estos los valores más óptimos para esta fase, por lo tanto se pudo comprobar que en las fases de descomposición la temperatura alcanzó niveles óptimos a excepción de la fase termófila.

2. Los niveles de pH en las fases de descomposición del sustrato alcanzaron promedios aceptables, principalmente en los tratamientos 1 y 2, donde se obtuvieron los promedios más cercanos a los niveles óptimos para este proceso siendo de 5 -7, esto permitió afianzar que estos microorganismos producen el pH adecuado en estas 3 fases de compostaje, lo cual es un factor fundamental para esta actividad.

3. La relación carbono nitrógeno analizada en el proceso de compostaje permitió determinar que todos los tratamientos están dentro del rango aconsejable para obtener un sustrato de calidad, puesto que todos los tratamientos se encuentran en un nivel por encima a 10, siendo el rango óptimo de 10 - 20, donde el testigo alcanzó el mejor valor de esta variable. Se concluye que todos los tratamientos cuentan con la maduración necesaria que permite obtener un producto final de calidad, tomando en consideración que la complementación orgánico – mineral está ligada directamente a esta variable y además es el factor más importante en el campo agro-forestal para la producción de material vegetativo y la potencialización de los suelos.

4. Mediante el análisis de costos de producción de la corteza de pino se puede observar que el tratamiento más económico es el testigo con un costo de producción por metro cúbico de 126.20 (USD) mientras que el tratamiento más costoso es el tratamiento 3 con un costo de 148.60 (USD) debido a la diferente dosificación del activo biológico Bioprot que se aplicaron en los tratamientos. Concluyendo que el tratamiento más rentable es el testigo, teniendo una diferencia de 22.40 (USD) con el tratamiento 4 que es

el más costoso.

5. Todos los tratamientos alcanzaron un similar efecto de descomposición por lo tanto se acepta la hipótesis nula y rechazamos la hipótesis alternante, en todos las dosificaciones de Bioprot y Biofung alcanzaron niveles similares de descomposición.

IX. RECOMENDACIONES

1. Para conseguir los niveles térmicos óptimos se recomienda variar un poco las dosis de los tratamientos en base a los productos utilizados e incluso tomando en cuenta los factores climáticos del temporal o estación climática.
2. En cuanto a los niveles de pH es recomendable aplicar productos que ayuden a corregir dichos niveles para alcanzar los rangos óptimos y perfeccionar el proceso de compostaje en sus respectivas fases.
3. La relación carbono/nitrógeno requiere mejorar la complementación orgánico- mineral, para lo cual es indispensable integrar nuevas fuentes y suplementos en porciones dosificadas que aporten con los minerales y vitaminas necesarios para conseguir un sustrato de calidad, que es el objetivo fundamental de una empresa agrícola y forestal para una producción vegetativa eficiente y de alto nivel.
4. Realizar pruebas germinativas y post germinativas evaluando variables de crecimiento de plantas para comprobar en que sustrato se desarrolla mejor las especies forestales.

VI. RESUMEN

La presente investigación propone: evaluar la dosificación de dos activos biológicos (bioprot y biofung) en el proceso de descomposición de sustrato de corteza de pino molida en el sector Los Ángeles, parroquia Patricia Pilar, cantón Buena Fé, provincia de Los Ríos; en el vivero forestal "Los Ángeles" perteneciente a la empresa NOVOPAN DEL ECUADOR S.A. aplicando diferentes dosis de dos activos biológicos de nombre comercial Bioprot y Biofung, los cuales consisten en una mezcla de soluciones concentradas de varias cepas vivas de *Bacilos sp* y esporas encapsuladas de *Trichoderma sp* respectivamente. Ambos productos fueron utilizados para obtener un correcto y acelerado proceso de compostaje, evaluando las diferentes etapas que sufre la corteza al compostarse aerobicamente, aplicando un diseño estadístico completamente al azar (DCA), que constó de 5 tratamientos y 3 repeticiones, tomando en cuenta los análisis químicos del sustrato en relación carbono/nitrógeno (C/N) y potencial hidrogeno (pH), realizados por el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), monitoreando todo proceso, para poder así determinar el costo del proceso y la eficiencia de los productos dando como resultado que todos los tratamientos llegaron a un rango aceptable de relación (C/N) teniendo el mejor valor el tratamiento 4 y en lo referente a pH todos los tratamientos alcanzaron promedios aceptables, principalmente en los tratamientos 1 y 2, donde se obtuvieron los promedios más cercanos a los niveles óptimos para este proceso. Todos los tratamientos alcanzaron el mismo efecto de descomposición por lo tanto se acepta la hipótesis nula y rechazamos la hipótesis alternante, en todas las dosificaciones de Bioprot y Biofung alcanzaron niveles similares de descomposición.

Palabras clave: ACTIVOS BIOLÓGICOS - CORTEZA DE PINO MOLIDA - COMPOSTAJE.

Por: Pablo Gallardo



RESUMEN
09/1

VII. SUMMARY

This research proposes: to evaluate the dosing of two biological assets (bioprot and biofung) in the decomposition process of ground pine bark substrate in the Los Angeles sector, Patricia Pilar parish, Buena Fé canton, Los Rios province; in the forest nursery "Los Angeles", belonging to the company NOVOPAN DEL ECUADOR S.A. applying different doses of two biological assets of commercial name Bioprot and Biofung, which consist of a mixture of concentrated solutions of several live strains of *Bacillus* sp and encapsulated spores of *Trichoderma* sp respectively. Both products were used to obtain a correct and accelerated composting process, evaluating the different stages that the bark undergoes when composing aerobically, applying a completely random statistical design (DCA), which consisted of 5 treatments and 3 repetitions, taking into account the chemical analysis of the substrate in relation carbon / nitrogen (C / N) and hydrogen potential (pH), carried out by the Agricultural Research Institute (INIAP), monitoring the entire process, in order to determine the cost of the process and the efficiency of the products, resulting in all the treatments reaching an acceptable range of relationship (C / N), treatment 4 was the best value and, in relation to pH, all treatments reached acceptable averages, mainly in treatments 1 and 2, where they were obtained the closest averages to the optimum levels for this process. All the treatments achieved the same decomposition effect; therefore, the null hypothesis is accepted and the alternating hypothesis is rejected, in all dosages of Bioprot and Biofung reached similar levels of decomposition.

KEY WORDS: <BIOLOGICAL ASSETS>, <GROUND PINE BARK>, <COMPOSTAJE>.



VIII. BIBLIOGRAFIA

1. Abad, M., Noguera, P., Carrión, C. (2004). *Los sustratos en los cultivos sin suelo*. En Tratado de cultivo sin suelo (Ed. Miguel Urrestarazu), Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. pp. 113-158.
2. Altamirano, M., & Cabrera, C. (2006). *Estudio comparativo para la elaboración de compost por técnica manual*. Revista del instituto de investigaciones FIGMMG. 9(17), 75 - 84.
3. Amner, W., McCarthy, A.J., & Edwards C. (1988). *Quantitative assessment of factors affecting the recovery of indigenous and release thermophilic bacteria from compost*. Appl. Environ. Microbiol. 54: 3107-3112.
4. Ansorena, J. (1994). *Propiedades físicas de los sustratos*. Chile Agrícola. pp 217-218.
5. Alvarez, J. (2010). *Manual de compostaje para agricultura ecológica*. Consejería de agricultura y pesca, Andalucía - Colombia. p. 48.
6. Boulter, J. I., Bolaand, G. J., & Trevors, J. T. (2000). *Compost: a study of the development process and end-product potential for suppression of turfgrass disease*. World Journal of Microbiology & Biotechnology 16: 115-134.
7. Blatta Soft. (2002). *Enmiendas y sustratos*. Recuperado el 25 de marzo de 2018, de: [http://www. Terralia.com](http://www.Terralia.com).
8. Bragg, N & Chamber, B. (1986). *Interpretation and advisory applications of air-filled porosity (AFP) measurements*. Acta Horticulturae 221: 35 -44.
9. Bunt, A. (1988). *Media and Mixes for Container Grown Plants*. 2nd Ed. Unwin Hyman Ltd, London.
10. Burés, S. (1997). *Sustratos*. Madrid, España E. Agro técnica. 342 p.

11. Cabrera, (1998). *Propiedades, uso y manejo de sustratos de cultivo para la producción de plantas en maceta*. Department of Plant Science, The State University of New Jersey, Rutgers, 59 Dudley Road, New Brunswick, New Jersey, USA. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 5(1): 5-11.
12. Calderón, A. (2006). *Sustratos agrícolas*. Chile, Proyecto Fondef. p 10.
13. Escobar, H. L. J. (2009). *Propiedades hídricas en mezclas de sustratos con diferentes proporciones y tamaños de partícula*. (Tesis de Maestría. en ciencias. edafología). Campus Montecillo Posgrado de Edafología. Colegio de Posgrados. Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas. Texcoco, Edo. De México. p 94.
14. Escobar, F., Sanchez, & Azero, M. (2012). *Evaluación del proceso de compostaje con diferentes tipos de mezclas basadas en la relación C/N y la adición de preparados biodinámicos en la Granja Modelo Pairumani*. Universidad Católica Boliviana. Bolivia. Recuperado el 20 de marzo del 2018 de: http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1683-07892012000100004
15. Fernández, M. (2010). *Evaluación de sustratos de fibra de madera de pino frente a sustratos convencionales en cultivo hidropónico de tomate*. (Tesis de grado de ingeniero agrícola). Pamponla. Recuperado el 20 de marzo del 2018 de: <http://academicae.unavarra.es/bitstream/handle/2454/2265/577281.pdf?sequence=1>
16. Gallo & Viana (2005). *Evaluación agronómica de sustratos orgánicos en la producción de plantones de tomate *Lycopersicum esculentum**. (Tesis de grado. Ingeniero agronomo.). Universidad de la República, Facultad de Agronomía. Montevideo - Uruguay, 80 p. Recuperado el 16 enero del 2018 de: <http://1164.73.52.13/iah/textostesis/2005/3363gal1.pdf>

17. Gavilán, U. M. (2003). *Tratado de cultivo sin suelo*. Madrid – España: Mundi-Prensa. p 903.
18. Grez, R & Gerding, V. (1995). *Corteza, desecho reciclable de la industria forestal como formador de sustratos para la producción vegetal*. Valdivia – Chile.
Recuperado el 26 enero del 2018 de:
<http://mingaonline.uach.cl/pdf/bosque/v16n1/art13.pdf>
19. Hansgate, A., Schloss, P., Hay, A. & Walker, L. (2005). *Molecular characterization of fungal community dynamics in the initial stages of composting*. FEMS Microbiol. Ecol. 51: 209-214.
20. Hine, D. (1991). *Efecto de tres niveles de fertilización nitrogenada y dos sustratos de crecimiento sobre la nutrición y producción de Maranta Roja (Maranta leuconeura)*. (Tesis de grado de Ingeniero Agrónomo). Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 38 p.
21. Jaramillo, G & Zapata, L. (2008). *Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en Colombia*. (Monografía para optar el título de Especialistas en Gestión Ambiental.). Universidad de Antioquia. Antioquia – Colombia. 116 p.
Recuperado el 13 de abril del 2018 de:
<http://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/45/1/AprovechamientoRSOUenColombia.pdf>
22. Jiménez, R. & Caballero, M. (1990). *El cultivo Industrial de Plantas en Maceta*. Ediciones de Horticultura. Reus. España.
23. Landis, T & Morgan, N. (2009). *Growing media alternatives for forest and native plant nurseries*. USDA Forest Serv. Proceed. RMRS-P 58: 26-31.
24. Masaguer, A. & López, C. M. (2006). *Sustratos para vivero*. Departamento de edafología agrónomos. Universidad politécnica de Madrid España. p 8.

25. OPS (ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD). (1999). *Manual para la Elaboración de Compost Bases Conceptuales y Procedimientos*. OPS/HEP/HES/URU/02.99. PP. 69 p
26. Ortiz, O. (1997). *Producción de brotes en plantas de Eucalyptus globulus (Labill) en sustratos de corteza de pino*. (Tesis de Ing. Forestal). Valdivia. Universidad Austral de Chile, Fac. Cs. Forestales. p 51.
27. Raviv, M., Chen, Y., & INBAR, Y. (1986). *Peat and peat substitutes as growth media for containergrown plants*. En *The Role of Organic Matter in Modern Agriculture* (Eds. Chen, Y.; Avnimelech, Y.), pp. 257-287. Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht Netherlands.
28. Roman, P., Martinez, M & Pantoja, A. (2013). *Manual del compostaje del agricultor FAO*. Santiago Chile. pp 23- 24. Recuperado el 30 de Abril del 2018 de: <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>
29. Rubén (2014). *Uso de la corteza de pino como sustrato en jardines, huertos y viveros*. Recuperado el 26 de abril del 2018 de la Flor de Planta de <https://www.flordeplanta.com.ar/fertilizantes-suelos/uso-de-la-corteza-de-pino-como-sustrato-en-jardines-huertos-y-viveros/>
30. Sade, A. (1997). *Cultivos bajo condiciones forzadas*. Nociones generales. Hazera. Barcelona, España. p 305.
31. Soria, B.C. & Olivert, A. M. J. (2002). *Cultivo sin Suelo de Hortalizas: Aspectos Prácticos y Experiencias*. Edita: Generalitat Valenciana. Conselleria de Agricultura, Pesca y Alimentación. p 110.
32. Terés, V. (2001). *Relaciones aire agua en sustrato de cultivo como base para el control de riego*. (Tesis de doctorado en ingeniería agrícola) Metodología de laboratorio y modelización. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid – España. Consultado el 25 de mayo del 2018 de <http://oa.upm.es/869/>

33. Tinus, R. (1980). *Nature and Management of Soil pH and Salinity*. In: *Proceedings North American Forest Tree Nursery Soils Workshop*. Syracuse, NY. College of Environmental Science and Forestry. Pp: 72-86.
34. Toro, J. & Quito, I. (2007). *Fertilización de eucalyptus globulus producidos en contenedores*. Hualpén – Chile.
35. Toval, G. (1983). *Utilización de la corteza de Pinos como Sustratos, en Viveros*. p 6.
Recuperado el 16 abril del 2018
de:https://infomadera.net/uploads/articulos/archivo_1256_17133.pdf
36. Van Eerden, E. (1974). *Growing season production of western conifers*. Proceedings, North American containerized forest tree seedling symposium. Denver, Co. pub 68. Great Plains agricultural council, pp: 93-103.
37. Zapata, N., Guerrero, F., & Polo, A. (2005). *Evaluación de corteza de pino y residuos urbanos como componentes de sustratos de cultivo*. Agricultura Técnica 65: pp 378-387.

IX. ANEXOS

Establecimiento de las unidades experimentales



Ilustración 1. Cajón de sustrato de 1 m³



Ilustración 2. Llenado del cajón de sustrato



Ilustración 3. Establecimiento de las pilas de sustrato



Ilustración 4. Pila de sustrato de 1 m³

Establecimiento de las unidades experimentales



Ilustración 5. Solución del activo biológico en agua



Ilustración 6. Aplicación de los activos biológicos.



Ilustración 7. Activo biológico “Bioprot”



Ilustración 8. Activo biológico “Biofung”

Actividades suplementarias



Ilustración 9. Etiquetación de los tratamientos



Ilustración 10. Tapado de las pilas de sustratos



Ilustración 11. Volteo del sustrato

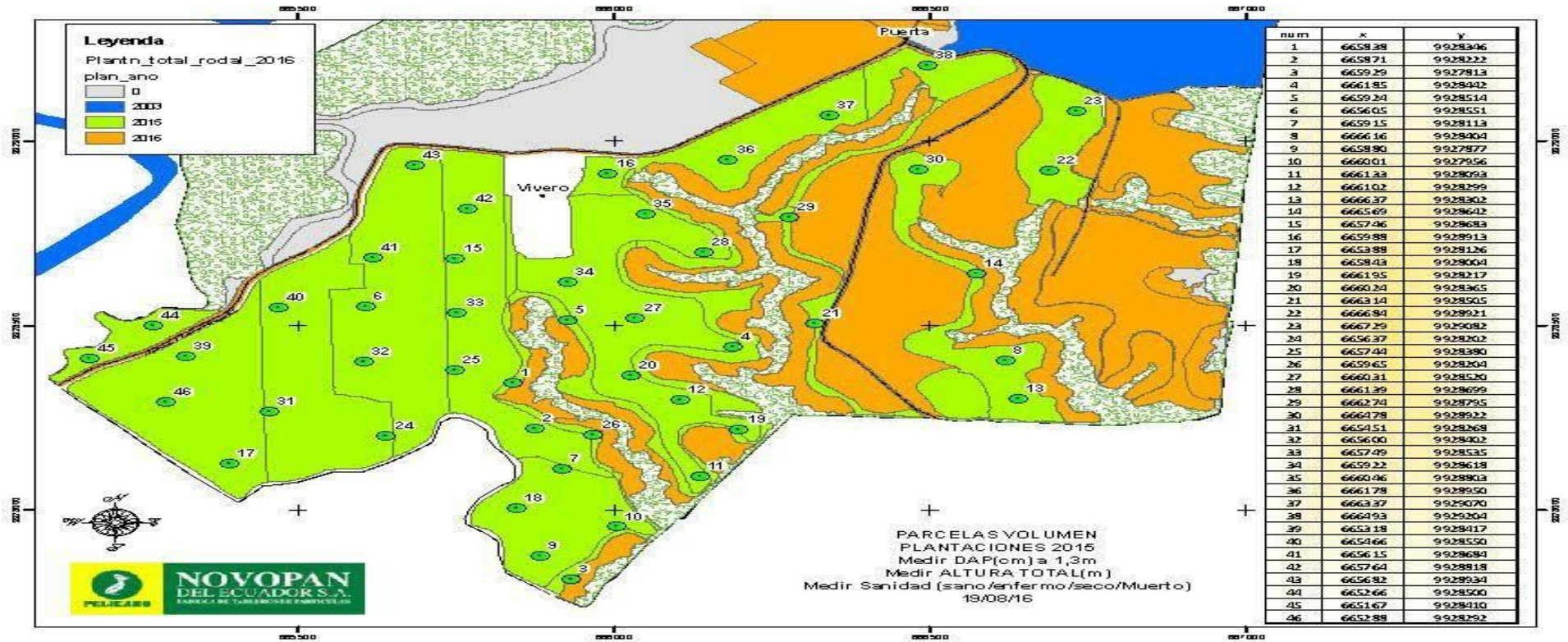


Figura 9. Mapa General de la hacienda "Los Ángeles"

Fuente: Cartografía Base de NOVOPAN S.A

PROMEDIO SEMANAL DE TEMPERATURAS ORDENADAS POR TRATAMIENTOS

Tabla 27. Promedio semanal de temperaturas del tratamientos 1

| <i>Tratamiento 1</i> | Semana 1 | Semana 2 | Semana 3 | Semana 4 | Semana 5 | Semana 6 | Semana 7 | Semana 8 | Semana 9 | Semana 10 | Semana 11 | Semana 12 | Semana 13 | Semana 14 |
|----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Repetición 1 | 48,3 | 47,4 | 44,5 | 39,6 | 38,4 | 33,2 | 31,7 | 31,0 | 28,5 | 28,5 | 28,5 | 27,4 | 27,9 | 28,1 |
| Repetición 2 | 49,7 | 46,7 | 44,2 | 39,8 | 35,9 | 33,2 | 32,7 | 32,2 | 30,5 | 30,5 | 30,5 | 30,1 | 30,5 | 30,8 |
| Repetición 3 | 48,0 | 47,2 | 41,6 | 38,5 | 35,9 | 36,0 | 34,6 | 33,2 | 30,1 | 30,1 | 30,1 | 28,8 | 28,8 | 28,9 |

Elaboración: Gallardo, P (2018)

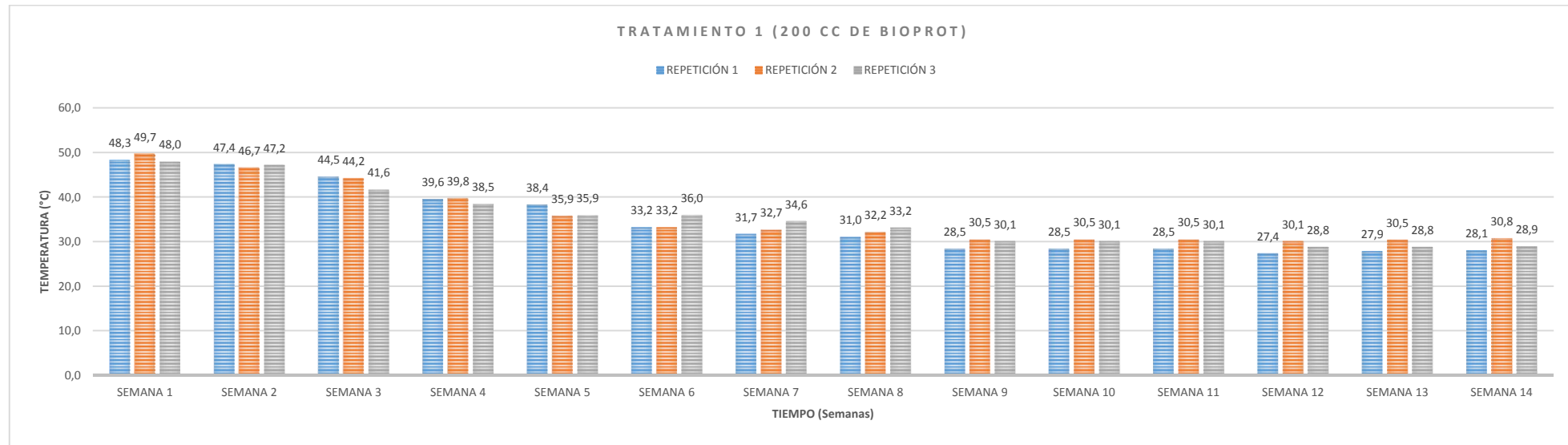


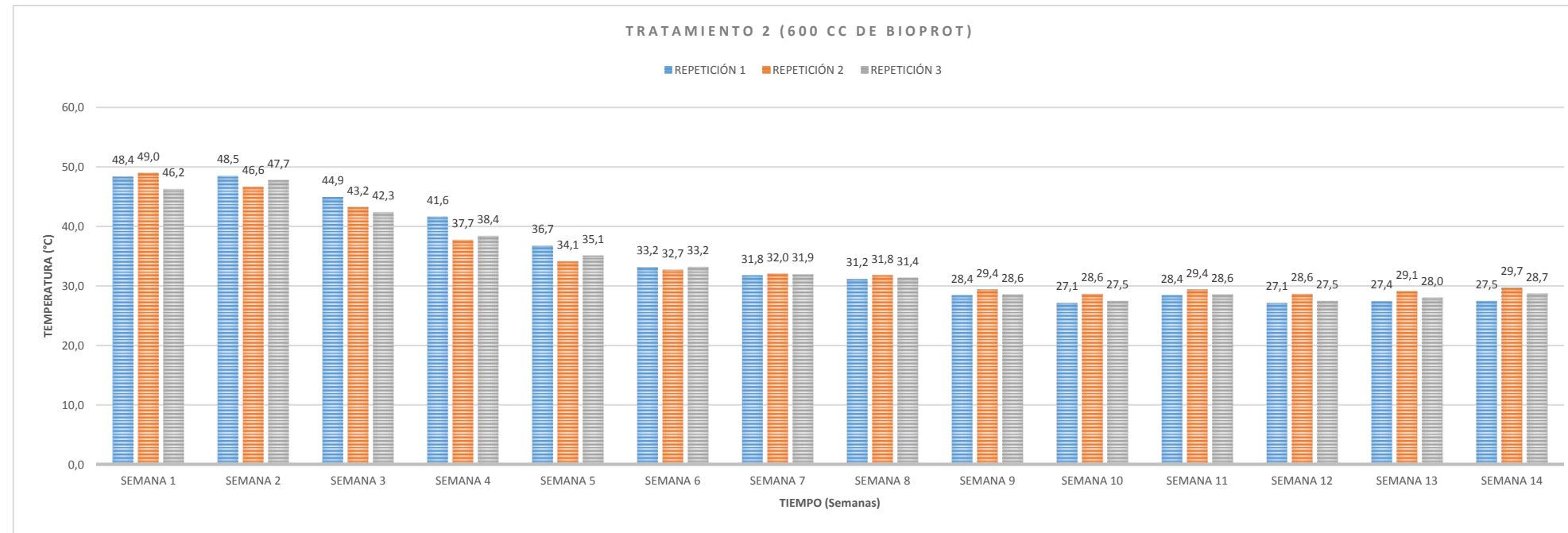
Figura 10. Comparación de temperaturas semanales de las repeticiones del tratamiento 1

Elaboración: Gallardo, P (2018)

Tabla 28. Promedio semanal de temperatura de las repeticiones del tratamiento 2

| <i>Tratamiento 2</i> | Semana 1 | Semana 2 | Semana 3 | Semana 4 | Semana 5 | Semana 6 | Semana 7 | Semana 8 | Semana 9 | Semana 10 | Semana 11 | Semana 12 | Semana 13 | Semana 14 |
|----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Repetición 1 | 48,4 | 48,5 | 44,9 | 41,6 | 36,7 | 33,2 | 31,8 | 31,2 | 28,4 | 27,1 | 28,4 | 27,1 | 27,4 | 27,5 |
| Repetición 2 | 49,0 | 46,6 | 43,2 | 37,7 | 34,1 | 32,7 | 32,0 | 31,8 | 29,4 | 28,6 | 29,4 | 28,6 | 29,1 | 29,7 |
| Repetición 3 | 46,2 | 47,7 | 42,3 | 38,4 | 35,1 | 33,2 | 31,9 | 31,4 | 28,6 | 27,5 | 28,6 | 27,5 | 28,0 | 28,7 |

Elaboración: Gallardo, P (2018)

**Figura 11.** Comparación de temperaturas semanales de las repeticiones del tratamiento 2

Elaboración: Gallardo, P (2018)

Tabla 29. Promedio semanal de temperatura de las repeticiones del tratamiento 3

| <i>Tratamiento 3</i> | Semana 1 | Semana 2 | Semana 3 | Semana 4 | Semana 5 | Semana 6 | Semana 7 | Semana 8 | Semana 9 | Semana 10 | Semana 11 | Semana 12 | Semana 13 | Semana 14 |
|----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Repetición 1 | 47,1 | 44,9 | 39,1 | 36,3 | 34,5 | 33,2 | 32,5 | 32,1 | 29,6 | 28,8 | 29,6 | 28,8 | 29,2 | 29,2 |
| Repetición 2 | 47,1 | 44,7 | 40,9 | 36,3 | 34,3 | 33,0 | 32,3 | 31,5 | 29,3 | 28,8 | 29,3 | 28,8 | 29,3 | 29,6 |
| Repetición 3 | 47,1 | 44,7 | 40,1 | 36,1 | 34,0 | 33,0 | 32,9 | 32,2 | 30,3 | 29,6 | 30,3 | 29,6 | 30,4 | 29,8 |

Elaboración: Gallardo, P (2018)

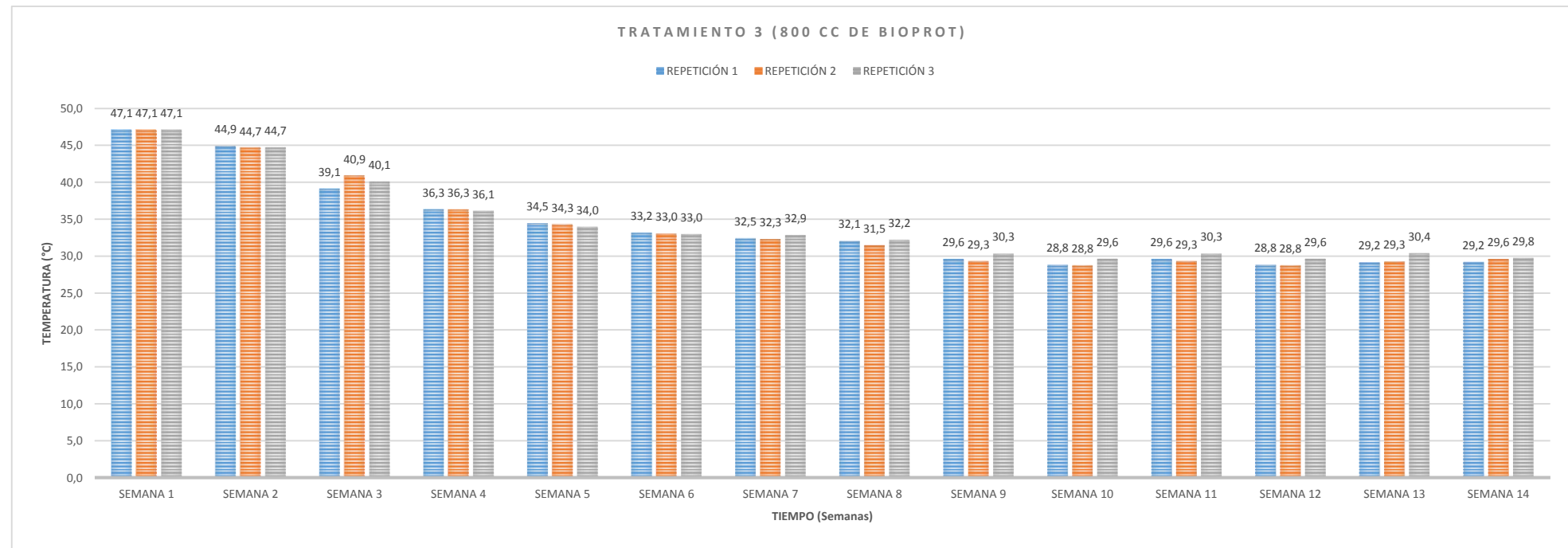


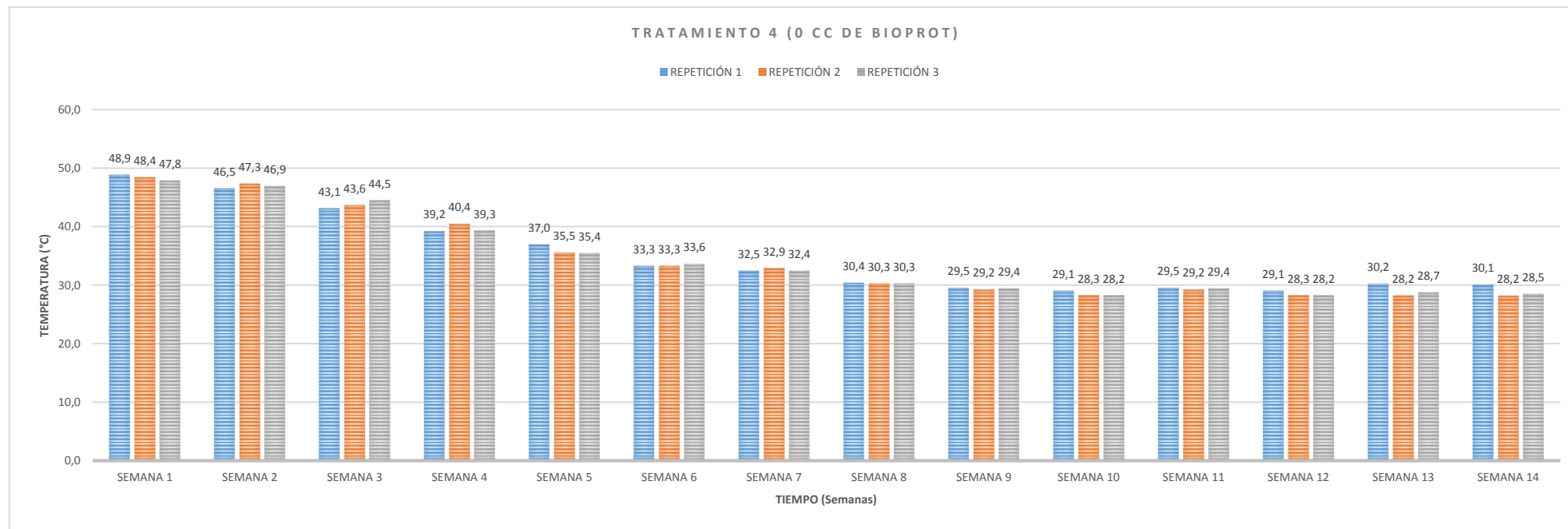
Figura 12. Comparación de temperaturas semanales de las repeticiones del tratamiento 3

Elaboración: Gallardo, P (2018)

Tabla 30. Promedio semanal de temperatura de las repeticiones del tratamiento 4

| <i>Tratamiento 4</i> | Semana 1 | Semana 2 | Semana 3 | Semana 4 | Semana 5 | Semana 6 | Semana 7 | Semana 8 | Semana 9 | Semana 10 | Semana 11 | Semana 12 | Semana 13 | Semana 14 |
|----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Repetición 1 | 48,9 | 46,5 | 43,1 | 39,2 | 37,0 | 33,3 | 32,5 | 30,4 | 29,5 | 29,1 | 29,5 | 29,1 | 30,2 | 30,1 |
| Repetición 2 | 48,4 | 47,3 | 43,6 | 40,4 | 35,5 | 33,3 | 32,9 | 30,3 | 29,2 | 28,3 | 29,2 | 28,3 | 28,2 | 28,2 |
| Repetición 3 | 47,8 | 46,9 | 44,5 | 39,3 | 35,4 | 33,6 | 32,4 | 30,3 | 29,4 | 28,2 | 29,4 | 28,2 | 28,7 | 28,5 |

Elaboración: Gallardo, P (2018)

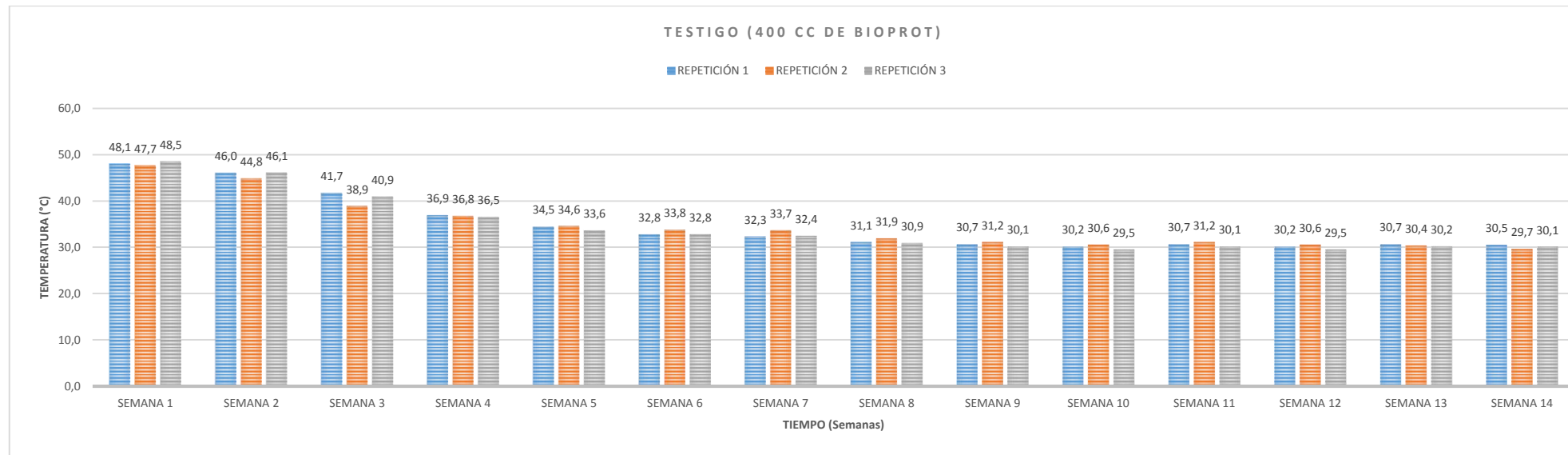
**Figura 13.** Comparación de temperaturas semanales de las repeticiones del tratamiento 4

Elaboración: Gallardo, P (2018)

Tabla 31. Promedio semanal de temperatura de las repeticiones del testigo

| <i>Testigo</i> | Semana 1 | Semana 2 | Semana 3 | Semana 4 | Semana 5 | Semana 6 | Semana 7 | Semana 8 | Semana 9 | Semana 10 | Semana 11 | Semana 12 | Semana 13 | Semana 14 |
|----------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Repetición 1 | 48,1 | 46,0 | 41,7 | 36,9 | 34,5 | 32,8 | 32,3 | 31,1 | 30,7 | 30,2 | 30,7 | 30,2 | 30,7 | 30,5 |
| Repetición 2 | 47,7 | 44,8 | 38,9 | 36,8 | 34,6 | 33,8 | 33,7 | 31,9 | 31,2 | 30,6 | 31,2 | 30,6 | 30,4 | 29,7 |
| Repetición 3 | 48,5 | 46,1 | 40,9 | 36,5 | 33,6 | 32,8 | 32,4 | 30,9 | 30,1 | 29,5 | 30,1 | 29,5 | 30,2 | 30,1 |

Elaboración: Gallardo, P (2018)

**Figura 14.** Comparación de temperaturas semanales de las repeticiones del testigo