

UNIVERSIDAD  
**CIENTÍFICA**  
DEL SUR

**FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES**  
**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA**  
**AGROFORESTAL**

**“EFECTO DEL COMPOSTAJE SOBRE LA CAPACIDAD  
ALELOPÁTICA DE HOJARASCA DE *Eucalyptus globulus* var.  
compacta UTILIZANDO COMO INDICADOR EL CULTIVO DE  
*Lactuca sativa*”**

Tesis para optar el título profesional de:

**INGENIERO AGROFORESTAL**

Presentado por:

Félix André Anaya Alonso (0000-0003-3237-7024)

Asesor:

Luis Abraham Gomero Osorio (0000-0002-4739-2094)

Lima – Perú

2023



UNIVERSIDAD  
**CIENTÍFICA**  
DEL SUR

**FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES**  
**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA**  
**AGROFORESTAL**

**“EFECTO DEL COMPOSTAJE SOBRE LA CAPACIDAD  
ALELOPÁTICA DE HOJARASCA DE *Eucalyptus globulus* var.  
compacta UTILIZANDO COMO INDICADOR EL CULTIVO DE  
*Lactuca sativa*”**

Tesis para optar el título profesional de:

**INGENIERO AGROFORESTAL**

Presentado por:

Félix André Anaya Alonso (0000-0003-3237-7024)

Asesor:

Luis Abraham Gomero Osorio (0000-0002-4739-2094)

Lima – Perú

2023

### ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Lima, 18 de julio de 2023.

Los integrantes del Jurado de tesis:

Presidente: Dr. Harol Gutiérrez Peralta
Integrante: Mg. Oscar Reátegui Arévalo
Integrante: Mg. Zoila Rosa Salinas Sifuentes

Se reúnen para evaluar la tesis titulada: EFECTO DEL COMPOSTAJE SOBRE LA CAPACIDAD ALELOPÁTICA DE HOJARASCA DE *Eucalyptus globulus* var. compacta UTILIZANDO COMO INDICADOR EL CULTIVO DE *Lactuca sativa*

Presentada por:

- Félix André Anaya Alonso

Para optar el Título Profesional de Ing. Agroforestal

Asesorada por: Ing. Luis Abraham Gomero Osorio

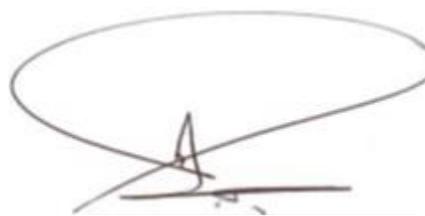
Luego de haber evaluado el informe final de tesis y evaluado el desempeño de los estudiantes en la sustentación, concluyen de manera unánime ( X ) por mayoría simple ( ) calificar a:

Integrante 1: Félix André Anaya Alonso			Nota (escrito): dieciseis
Aprobado ( )	Aprobado - Muy buena ( X )	Aprobado - Sobresaliente ( )	Desaprobado ( )

Los miembros del jurado firman en señal de conformidad.



**Dr. Harol Gutiérrez Peralta**  
Presidente del jurado



**Mg. Oscar Reátegui Arévalo**  
Miembro del jurado



**Mg. Zoila Rosa Salinas Sifuentes**  
Miembro del jurado



**Ing. Luis Abraham Gomero Osorio**  
Asesor

**1. ANEXO: FORMATO DE DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD DE CONTENIDO DE INFORME FINAL DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN  
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR**

**DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD DE CONTENIDO DE INFORME FINAL DE TESIS / TRABAJO DE INVESTIGACIÓN<sup>1</sup>**

Lima, 22 de Julio del 2023

Señor,  
Carlos Zavalaga Reyes

**Director General de Investigación, Desarrollo e Innovación  
Universidad Científica del Sur  
Presente. –**

De nuestra consideración,

Yo: Felix André Anaya Alonso, estudiante/egresado de la carrera de Ingeniería Agroforestal de la Universidad Científica del Sur, en conjunto con el asesor/la asesora de tesis Luis Abraham Gómero Osorio, declaramos que este informe final de tesis/trabajo de investigación titulado: EFECTO DEL COMPOSTAJE SOBRE LA CAPACIDAD ALELOPÁTICA DE HOJARASCA DE *Eucalyptus globulus* var. compacta UTILIZANDO COMO INDICADOR EL CULTIVO DE *Lactuca sativa*, sustentado para obtener el título/grado de Ingeniero Agroforestal es original.

Es decir, no contiene plagio parcial ni total, cuando se utilizó información de fuentes externas se reconoció la autoría mediante la adecuada citación y los resultados obtenidos son producto entero de mi investigación y no han sido falseados ni fabricados. Todo esto en cumplimiento del Código de ética en la investigación, Reglamento del Comité de Integridad Científica, Reglamento de Propiedad Intelectual, Normas y procedimientos de los trabajos de investigación para la obtención de títulos profesionales y grados académicos <sup>2</sup>, que afirmamos conocer en su totalidad.

Por ello, en caso de identificarse alguna situación de plagio, falsificación o fabricación de resultados, nos allanamos al proceso de investigación que establezca la Universidad y las posibles sanciones que pudieran surgir.

Firmamos en conformidad con lo declarado,



**Firma tesista  
DNI: 76271399**



**Firma del asesor de tesis  
DNI: 10681962**

<sup>1</sup> En conformidad con la Resolución del Consejo Directivo N° 084-2022-SUNEDU/CD

<sup>2</sup> Los documentos están en: <https://investigacion.cientifica.edu.pe/reglamentos/>

## INFORME DE REVISIÓN DE ORIGINALIDAD

**Título del documento evaluado.** Efecto del compostaje sobre la capacidad alelopática de hojarasca de *Eucalyptus globulus* var. compacta utilizando como indicador el cultivo de *Lactuca sativa*

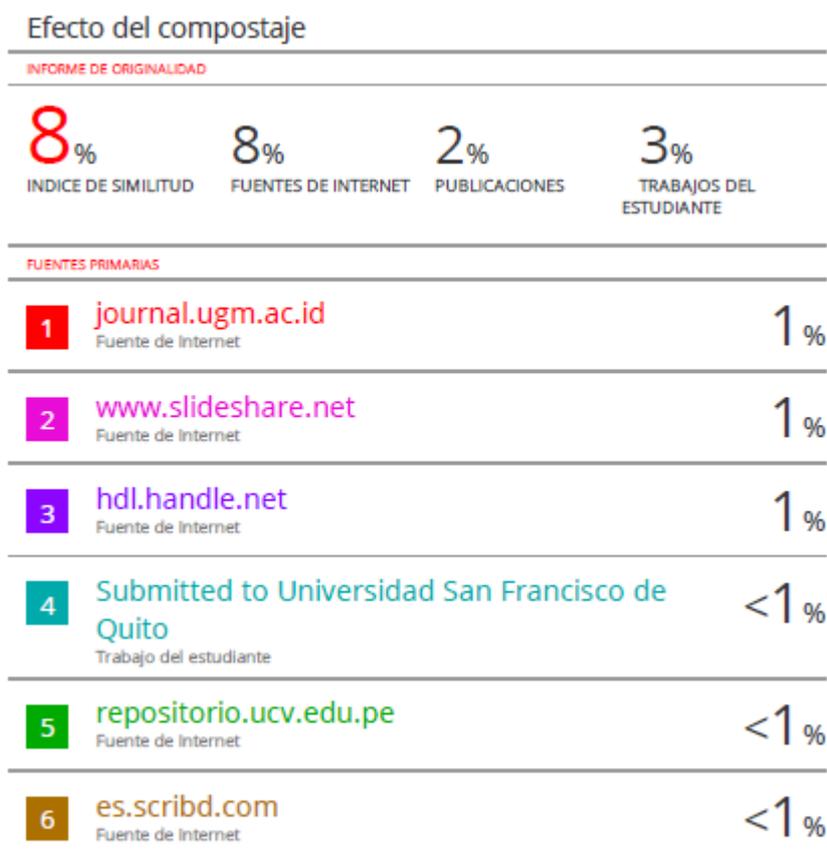
**Autores.** Felix Andre Anaya Alonso.

**Mecanismo de revisión de originalidad.** Evaluación con Turnitin (ID 2149110870).

**Resultado de la evaluación.** 8%

**Revisado por.** Magaly Kelly Guerrero Huaracallo.

**Comentarios sobre la revisión.** Filtros usados: excluir fuentes de menos de 12 palabras.





## AGRADECIMIENTOS

A mis padres Julia y Félix y a mi hermana Adriana, por todo el apoyo y paciencia brindada a lo largo del proceso universitario y de tesis, gracias a ellos he llegado a ser el estudiante que soy hoy día.

Al Ing. Luis Gomero, por asesorarme en la elaboración de la tesis, por su tiempo y apoyo brindado para poder realizar con eficiencia mi proyecto.

A todos mis grandes amigos por su amistad y apoyo en toda la etapa universitaria hasta el final a pesar de mi condición de salud, y a la Universidad Científica del Sur por haber sido el pilar de mi educación.

## ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	i
ÍNDICE GENERAL.....	ii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	v
ÍNDICE DE TABLAS.....	vii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	viii
RESUMEN .....	ix
ABSTRACT.....	xi
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	4
2.1. Características taxonómicas y descripción botánica del <i>Eucalyptus globulus</i> var. compacta.....	4
2.2. Origen y distribución de <i>E. globulus</i> .....	5
2.3. Descripción del fenómeno de la alelopatía.....	6
2.4. Descripción de los aleloquímicos.....	7
2.5. Alelopatía: fenoles, taninos y flavonoides.....	8
2.6. Descripción del proceso de compostaje.....	9
2.7. Relación C/N.....	9
2.8. Temperatura.....	9
2.9. Aireación.....	11
2.10. pH.....	11
2.11. Tamaño de la partícula.....	11
2.12. Humedad.....	12
2.13. Características taxonómicas y descripción botánica de la <i>Lactuca sativa</i> .....	12
2.14. Sensibilidad de la <i>Lactuca sativa</i> ante fitotoxícos.....	13
III. OBJETIVOS E HIPÓTESIS.....	14
3.1. Objetivo general.....	14
3.2. Objetivos específicos.....	14
3.3. Hipótesis.....	14
IV. METODOLOGÍA.....	14
4.1. Lugar de estudio.....	14
4.2. Manejo del proyecto.....	15
4.2.1. Obtención de la hojarasca.....	15

4.2.2.	Obtención de estiércol bovino seco.....	15
4.2.3.	Secado, triturado y análisis de la hojarasca .....	15
4.2.4.	Elaboración de las cajas composteras .....	16
4.2.5.	Elaboración del compost.....	16
4.3.	Parámetros del compost.....	17
4.3.1.	Relación C/N.....	17
4.3.2.	Aireación .....	18
4.3.3.	pH.....	18
4.3.4.	Temperatura.....	19
4.3.5.	Humedad.....	19
4.3.6.	Tamaño de la partícula .....	19
4.3.7.	Tratamientos .....	19
4.4.	Análisis químico del compost .....	21
4.5.	Cosecha del compost .....	21
4.6.	Obtención de las semillas de las plantas modelo .....	22
4.7.	Tratamientos de <i>Lactuca sativa</i> y siembra de semillas .....	22
4.8.	Mantenimiento de las plantas modelo para extracción de datos .....	23
4.9.	Población y muestra .....	23
4.10.	Indicadores vegetales.....	23
4.10.1.	Porcentaje de germinación .....	23
4.10.2.	Área foliar (AF).....	24
4.10.3.	Peso fresco (PF) y seco (PS).....	24
4.11.	Procesamiento y análisis de datos.....	24
V.	RESULTADOS .....	26
5.1.	Tratamientos de compostaje (C/N).....	27
5.1.1.	Cantidad de aleloquímicos iniciales (%) en hojarasca de <i>E. globulus</i> var. compacta y estiércol bovino seco.....	27
5.1.2.	Mediciones de pH a lo largo del compostaje .....	28
5.1.3.	Mediciones de temperatura a lo largo del compostaje.....	29
5.1.4.	Cantidad de aleloquímicos (%) más representativos en compostajes finalizados ....	30
5.1.5.	Comparación de taninos (%) al inicio y final de los compostajes .....	31
5.1.6.	Comparación de fenoles (%) al inicio y final de los compostajes .....	32
5.2.	Tratamientos con <i>Lactuca sativa</i> .....	33

5.2.1.	Interacción del área foliar (cm <sup>2</sup> ) en los tratamientos.....	33
5.2.2.	Interacción del peso fresco en gramos respecto a los tratamientos .....	35
5.2.3.	Interacción del peso seco en gramos respecto a los tratamientos.....	37
5.2.4.	Interacción del porcentaje germinativo (%) en los tratamientos.....	39
VI.	DISCUSIÓN.....	40
6.1.	Variación de aleloquímicos presentes al inicio y final del compostaje .....	40
6.1.1.	Variación de taninos.....	40
6.1.2.	Variación de fenoles.....	40
6.2.	Variables cuantitativas medidas en todo el proceso de compostaje .....	41
6.3.	Interacción de los tratamientos con <i>Lactuca sativa</i> con respecto a las cuatro variables vegetales.....	42
6.4.	Porcentaje de germinación.....	43
VII.	CONCLUSIONES.....	44
VIII.	RECOMENDACIONES .....	45
IX.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	46
X.	ABREVIATURAS.....	54
XI.	ANEXOS.....	55
11.1.	Anexos de resultados y tablas estadísticas.....	55
11.2.	Anexos de imágenes.....	63

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Porcentaje de aleloquímicos (fenoles, taninos y flavonoides) en hojarasca de <i>Eucalyptus globulus</i> var. <i>compacta</i> y estiércol bovino.....	27
Figura 2. Seguimiento del pH durante todo el proceso de compostaje hasta la semana 16. ....	28
Figura 3. Seguimiento de la temperatura (°C) durante todo el proceso de compostaje hasta la semana 16. ....	29
Figura 4. Porcentaje de aleloquímicos más representativos (taninos y fenoles) en tratamientos de compostaje finalizados (semana 16). ....	30
Figura 5. Comparación de taninos (%) analizados al inicio y al final de los tratamientos de compostaje. ....	31
Figura 6. Comparación de fenoles (%) analizados al inicio y al final de los tratamientos de compostaje. ....	32
Figura 7. Interacción de los tratamientos con <i>Lactuca sativa</i> con respecto a la variable área foliar (cm <sup>2</sup> ). ....	33
Figura 8. Diagrama de caja para área foliar (cm <sup>2</sup> ) respecto a los cinco tratamientos con <i>Lactuca sativa</i> . ....	34
Figura 9. Interacción de los tratamientos con <i>Lactuca sativa</i> con respecto a la variable peso fresco (gr). ....	35
Figura 10. Diagrama de caja para peso fresco (gr) respecto a los cinco tratamientos con <i>Lactuca sativa</i> . ....	36
Figura 11. Interacción de los tratamientos con <i>Lactuca sativa</i> con respecto a la variable peso seco (gr). ....	37
Figura 12. Diagrama de caja para peso seco (gr) respecto a los cinco tratamientos con <i>Lactuca sativa</i> . ....	38
Figura 13. Interacción de los tratamientos con <i>Lactuca sativa</i> con respecto a la variable porcentaje germinativo (%). ....	39
Figura 14. Hojarasca de <i>E. globulus</i> var. <i>compacta</i> . ....	63
Figura 15. Cajas para compostajes. ....	63
Figura 16. Combinación tratamientos de compost. ....	63
Figura 17. Muestras para laboratorio. ....	63
Figura 18. Etiquetas de laboratorio. ....	63
Figura 19. Tratamientos en la zona de compostaje. ....	63
Figura 20. Tratamientos de <i>E. globulus</i> var. <i>compacta</i> Semana 1. ....	64
Figura 21. Tratamientos de <i>E. globulus</i> var. <i>compacta</i> Semana 1. ....	64
Figura 22. Análisis de planimetría con AutoCAD. ....	64

Figura 23. Sistema radicular vigoroso Tratamiento 3.....	64
Figura 24. Pesado de tratamientos .....	64
Figura 25. Deshidratadora y tratamientos.....	64
Figura 26. Comprobante de pago <i>E. globulus</i> var. <i>compacta</i> .....	65
Figura 27. Hojarasca de <i>E. globulus</i> var. <i>compacta</i> .....	65
Figura 28. Hojarasca de <i>E. globulus</i> var. <i>compacta</i> .....	65
Figura 29. Peachímetro digital genérico .....	65
Figura 30. Medidor de suelo electrónico 4-en-1, marca Gaqgee .....	65
Figura 31. Primer informe de ensayo por el laboratorio Slab .....	66
Figura 32. Segundo informe de ensayo por el laboratorio Slab (página 1).....	67
Figura 33. Segundo informe de ensayo por el laboratorio Slab (página 2).....	68

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Formulación de compostaje con diferentes cantidades basadas en la relación C/N.....</i>	20
Tabla 2. <i>Tratamientos de Lactuca sativa, repeticiones.....</i>	22
Tabla 3. <i>Resultados finales de las variables de los 5 tratamientos vegetales a en la semana 1 y 5..</i>	55
Tabla 4. <i>Análisis de laboratorio iniciales de aleloquímicos en hojarasca de E. globulus y estiércol bovino seco, como también relación C/N.....</i>	56
Tabla 5. <i>Formulaciones del % total de taninos y fenoles por cada tratamiento de compostaje .....</i>	57
Tabla 6. <i>Mediciones por tratamiento de las variables pH y temperatura, a lo largo del proceso de compostaje.....</i>	57
Tabla 7. <i>Análisis de laboratorio finales de aleloquímicos en hojarasca de E. globulus (fenoles y taninos).....</i>	58
Tabla 8. <i>Resultados estadísticos descriptivos de las variables vegetales .....</i>	58
Tabla 9. <i>Prueba de Normalidad de las variables vegetales.....</i>	59
Tabla 10. <i>Prueba de homogeneidad de varianzas de Levene de las variables vegetales .....</i>	59
Tabla 11. <i>Prueba ANOVA de las variables vegetales.....</i>	60
Tabla 12. <i>Prueba Tukey (<math>p &lt; 0.05</math>), respecto a la variable área foliar (cm<sup>2</sup>) .....</i>	60
Tabla 13. <i>Prueba Tukey (<math>p &lt; 0.05</math>), respecto a la variable peso fresco (gr) .....</i>	61
Tabla 14. <i>Prueba Tukey (<math>p &lt; 0.05</math>), respecto a la variable peso seco (gr).....</i>	62
Tabla 15. <i>Prueba Kruskal-Wallis para la variable porcentaje de germinación (%).....</i>	62

**ÍNDICE DE ANEXOS**

XII.	ANEXOS .....	55
12.1.	Anexos de resultados y tablas estadísticas.....	55
12.2.	Anexos de imágenes.....	63

**“EFECTO DEL COMPOSTAJE SOBRE LA CAPACIDAD ALELOPÁTICA DE HOJARASCA  
DE *Eucalyptus globulus* var. compacta UTILIZANDO COMO INDICADOR EL  
CULTIVO DE *Lactuca sativa*”**

**RESUMEN**

El objetivo principal de esta investigación consistió en evaluar la disminución de los compuestos aleloquímicos encontrados en la hojarasca de *Eucalyptus globulus* var. compacta por medio de compostaje, los compuestos aleloquímicos fueron en mayor proporción (según el laboratorio Slab) fenoles 27.55% y taninos 27.06%, la reducción de estos aleloquímicos se realizó por medio de diferentes compostajes combinados con estiércol bovino seco en diferentes relación Carbono/Nitrógeno (20, 25, 30 y 35) y en el control solo se utilizó estiércol.

El estudio tuvo lugar en el distrito de San Isidro, Lima, Perú, al finalizar los 4 meses de compostaje se mandaron muestras al laboratorio Slab, donde se evidenciaron grandes diferencias en el porcentaje de aleloquímicos en el compostaje final comparado con el inicial; el tratamiento 3 (C/N 30) redujo exitosamente los taninos en un 92.7%, y fenoles en un 99.27%.

Para evidenciar la eficacia de los compostajes producidos como aptos para cultivo, se utilizó a la *Lactuca sativa* como planta indicadora, teniendo 25 macetas (5 por tratamiento), cada maceta de 3 L con 2.5 kg de los compostajes y una lechuga. Después de 5 semanas de cultivo, se presenciaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en las variables de los tratamientos de *Lactuca sativa* a excepción de la variable porcentaje de germinación la cual no presentó diferencias significativas ( $p < 0.05$ ). El tratamiento con la mayor media de área foliar (1037.40cm<sup>2</sup>), peso fresco (109.16gr) y peso seco (12.34gr), fue el tratamiento 3 (C/N 30).

Se empleó la media aritmética de las mediciones como indicador para las pruebas estadísticas.

Como resultado del estudio, se determina que los tratamientos de compostaje de hojarasca alelopática de la variedad *E. globulus* var. compacta lograron el mayor éxito en la reducción de los compuestos aleloquímicos, a la par con las variables vegetales medidas en los tratamientos de *Lactuca sativa*, lo tiene el tratamiento 3 (C/N 30), finalmente se determinó la formulación de compostaje con estiércol bovino seco más efectiva para reducir los aleloquímicos presentes en la hojarasca de *E. globulus* var. compacta.

**Palabras claves:** Aleloquímico, Compost, Estiércol bovino, Planta indicadora, Relación Carbono/Nitrógeno

**“EFFECT OF COMPOSTING ON THE ALLELOPATHIC CAPACITY OF LEAF LITTER OF *Eucalyptus globulus* var. *compacta* USING *Lactuca sativa* CROP AS INDICATOR”**

**ABSTRACT**

The main objective of this research was to evaluate the decrease of allelochemical compounds found in the litter of *Eucalyptus globulus* var. *compacta* by means of composting, the allelochemical compounds were in greater proportion (according to the Slab laboratory) phenols 27.55% and tannins 27.06%, the reduction of these allelochemicals was carried out by means of different compostings combined with bovine manure in different Carbon/Nitrogen ratios (20, 25, 30 and 35) and in the control only manure was produced.

The study took place in the district of San Isidro, Lima, Peru. At the end of the 4 months of composting, samples were sent to the Slab laboratory, where large differences were found in the percentage of allelochemicals in the final composting compared to the initial one; Treatment 3 (C/N 30) successfully reduced tannins by 92.7%, and phenols by 99.27%.

To demonstrate the effectiveness of the composts produced as suitable for cultivation, *Lactuca sativa* was obtained as an indicator plant, having 25 pots (5 per treatment), each pot 3 liters with 2.5 kg of composts and one. After 5 weeks of culture, significant differences ( $p < 0.05$ ) were observed in the variables of the *Lactuca sativa* treatments, except for the germination percentage variable, which did not present significant differences ( $p < 0.05$ ). The treatment with the highest average leaf area (1037.40cm<sup>2</sup>), fresh weight (109.16gr) and dry weight (12.34gr), was treatment 3 (C/N 30). The arithmetic mean of the measurements was used as an indicator for the statistical tests.

As a result of the study, it is determined that the composting treatments of allelopathic litter of the variety *E. globulus* var. *compacta* achieved the greatest success in reducing allelochemical compounds, on a par with the plant variables measured in the treatments of *Lactuca sativa*, it has treatment 3 (C/N 30), finally the most effective composting formulation with dried bovine manure will be developed to reduce the allelochemicals present in the leaf litter of *E. globulus* var. *compacta*.

**Keywords:** Allelochemical, Compost, Bovine manure, Indicator plant, Carbon/Nitrogen ratio

## I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El género *Eucalyptus* pertenece a la familia Myrtaceae y está compuesto principalmente por especies arbóreas, poseen hojas coriáceas, las cuales se descomponen lentamente; su crecimiento es continuo, tanto en periodos secos como húmedos (Granados-Sánchez & López-Ríos, 2007).

*Eucalyptus globulus* tiene un reconocido valor económico debido al uso en la industria forestal como pulpa de papel y madera de rápido crecimiento; no obstante, se ha documentado que sus órganos vegetativos tales como hojas contienen numerosos aleloquímicos en forma de taninos, fenoles y flavonoides (Rizvi et al., 1999), los cuales son compuestos químicos liberados por una planta para defensa y competencia, causando efectos fisiológicos mayoritariamente negativos, sobre otras plantas (Cárdenas, 2014). Los aleloquímicos que presentan en mayor porcentaje son: fenoles, flavonoides y taninos (Rizvi et al., 1999), la mayoría de estos aleloquímicos llegan a perjudicar la fertilidad del suelo a corto o largo plazo, inhibiendo el desarrollo vegetativo de otras especies a su alrededor (Liao et al., 2019).

En la actualidad el género *Eucalyptus* es el más extendido en plantaciones forestales gracias a su gran adaptabilidad a climas y suelos, junto con su rápido crecimiento y producción de madera; a pesar de sus desventajas hacia el ambiente, estos árboles tienen grandes ventajas de uso múltiple como; suministro de madera, sombrío, pulpa para papel, protección, miel y aceites (Silva et al., 2018). En la agroforestería *E. globulus* es muy utilizado como suministro de sombra, pero es en el mantenimiento del cultivo donde se hace un mal uso de la hojarasca, ya que en la mayoría esta se deja sobre la superficie del suelo sin ningún tipo de tratamiento

(Perthuisot & Fare, 2018); por lo que el tratamiento propuesto en esta investigación para reducir la alelopatía en la hojarasca de *E. globulus* y que tenga un buen uso en la agricultura, fue mediante el proceso de compostaje, debido a que los microorganismos del compost no solo tienen la capacidad de convertir la materia orgánica (MO) cruda en humus, sino que también tienen el poder de degradar la mayoría de químicos tóxicos a moléculas más simples y benignas (Jenkins, 1996). Un ejemplo de esto es la alta volatilidad de los aceites esenciales del eucalipto, los cuales deben evaporarse rápidamente y/o ser destruidos en un buen compost caliente. (Islam et al., 2016).

Como todo proceso tiene parámetros, el compost consta de 6 parámetros fundamentales a tener en cuenta a la hora de realizarlo, los cuales son: relación C/N, aireación, pH, temperatura, humedad y tamaño de la partícula, (todos ellos explicados en la parte de marco teórico), es importante resaltar que la relación C/N determina la velocidad de descomposición de cualquier residuo orgánico, por lo tanto a partir de ella se determinó el inicio de los tratamientos en el proyecto (explicado más adelante).

Este trabajo de investigación estuvo enfocado en realizar compostajes con hojarasca alelopática de *E. globulus* combinado con estiércol bovino seco en diferentes concentraciones de relación C/N (20, 25, 30 y 35), se analizó la variación de la cantidad de aleloquímicos (%), previo y posterior a los tratamientos de compostaje, mediante espectrofotometría UV-visible. Los compostajes finalizados se pusieron en macetas con semillas de *Lactuca sativa* (planta indicativa) para comprobar en el tiempo la viabilidad de los mismos, puesto que, como muchas plantas sensibles, esta tiene la capacidad de sintetizar y acumular en sus órganos una gran variedad de aleloquímicos (Layne & Méndez, 2013; Blanco, 2006; Sampieteo, 2003).

Los análisis químicos previos y finalizados los compostajes, junto con las respuestas vegetativas de la *Lactuca sativa* en las macetas según cada tratamiento, sirvieron como indicador del método más viable y efectivo para la reducción de aleloquímicos. Este trabajo de investigación finalizó en una formulación matemática la cual determinó la dosis exacta del compostaje de hojarasca de *Eucalyptus globulus var. compacta*, junto con el material rico en nitrógeno (estiércol bovino seco) para la eliminación alelopática.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Características taxonómicas y descripción botánica del *Eucalyptus globulus* var. *compacta*

Según la clasificación APG IV, *Eucalyptus globulus* var. *compacta* pertenece al siguiente taxón (Schoch CL et al., 2020):

- Reino: Plantae (Plantas)
- Subreino: Tracheobionta (Plantas vasculares)
- Superdivisión: Spermatophyta (Plantas con semillas)
- División: Magnoliophyta (Plantas con flores)
- Clase: Magnoliopsida (Dicotiledóneas)
- Subclase: Rosidae
- Orden: Myrtales
- Familia: Myrtaceae (Mirtos)
- Género: *Eucalyptus*
- Subgénero: *Symphyomyrtus*
- Sección: Maidenaria
- Subsección: Maidenaria
- Especie: *Eucalyptus globulus*
- Variedad: *Eucalyptus globulus* var. *compacta*

El Eucalipto (*Eucalyptus globulus* var. *compacta*), es un árbol perteneciente a la familia Myrtaceae, y cuyo género está compuesto por aproximadamente 800 especies (Liao et al., 2019).

Es un árbol siempre verde de grande a muy grande, de 40-55 (máx. 60) m de altura, con tronco recto y macizo de 0,6-2 m de diámetro; copa estrecha e irregular de grandes ramas y follaje aromático caído; corteza lisa, descascarándose en tiras largas (Orwa et al., 2009).

Hojas alternas, pecíolos aplanados, en forma de lanza estrecha, 10-30 cm de largo, 2,5-5 cm de ancho, en su mayoría curvas o en forma de hoz, coriáceas, rara vez presenta flores, las cuales son de color blanco (Orwa et al., 2009).

## 2.2. Origen y distribución de *E. globulus*

*Eucalyptus globulus* es una especie nativa del sureste de Australia, incluida la isla de Tasmania, pero es una de las especies forestales de madera dura más cultivadas en el mundo y está naturalizada en varios continentes (Yost et al., 2021).

La madera de *Eucalyptus globulus* var. compacta tiene una densidad promedio que varía entre 700 y 900 kg/m<sup>3</sup> y es conocida por ser resistente y duradera, con altos niveles de resistencia a la compresión, flexión y tracción, por lo que es adecuada para su uso en construcción y estructuras resistentes (Swank et al., 2021). Además, la variedad compacta del *Eucalyptus globulus* es apreciada por su menor altura y ramificación, lo que permite su cultivo en áreas con espacio limitado, y también por su rápido crecimiento y alta densidad de madera (Swank et al., 2021).

Los eucaliptos se extienden por más de 20 millones de hectáreas en más de 90 países alrededor del mundo, abarcando extensas áreas forestales, siendo los más importantes en densidad Brasil, India y China. Los eucaliptos son ampliamente cultivados en plantaciones comerciales con el propósito de generar materia prima destinada a diversas industrias (tales como la producción de pasta y papel, carbón vegetal, madera aserrada y paneles de madera).

Además, también se encuentran en pequeñas parcelas destinadas a la producción de leña y carbón vegetal para el consumo doméstico (Iufro, 2018). Según SERFOR, 2018, la superficie de plantaciones forestales comerciales en Perú aumentó en un 20,6% entre los años 2014 y 2017, siendo el eucalipto la especie más cultivada en el país. En cuanto a las variedades de eucalipto plantadas en Perú, algunas de las más comunes son *Eucalyptus globulus*, *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus camaldulensis*, y *Eucalyptus saligna*.

La considerable expansión de *E. globulus* en las últimas décadas refleja importantes ventajas competitivas de los eucaliptos en relación con otras especies arbóreas en términos de productividad, tolerancia al estrés biótico y abiótico, calidad de la madera para una amplia variedad de usos y capacidad de manejo (Iufro, 2018).

### **2.3. Descripción del fenómeno de la alelopatía**

La palabra alelopatía se deriva de dos palabras griegas separadas, alelo que significa uno del otro o mutuo y patía que significa sufrir o sentir (Narwal & Jain, 1994). Hans Molisch (1937) definió el fenómeno de la alelopatía como el proceso mediante el cual una planta libera uno o varios aleloquímicos a su entorno, los cuales inhiben el crecimiento de otras plantas que coexisten en el mismo hábitat o entorno.

La estudio de la alelopatía constituye una rama especializada de la ecología química que se dedica a examinar los impactos de los compuestos químicos generados por organismos vegetales o microorganismos en relación al crecimiento y progreso de otras plantas, tanto en entornos naturales como en ámbitos agrícolas (Einhellig, 1995).

La interacción química entre plantas es conocida desde hace miles de años. El botánico griego Teofrasto en el año 300 a.C., mencionó que el garbanzo (*Cicer arietinum*) tenía efectos

negativos en otras plantas. Siglos después Cayo Plinio, un escritor e investigador romano (1 d.C.) notó el efecto inhibitor del nogal (*Juglans spp.*) sobre cultivos cercanos (Khamare et al., 2022).

#### **2.4. Descripción de los aleloquímicos**

Los aleloquímicos son compuestos químicos liberados por las plantas como metabolitos secundarios, y desempeñan un papel importante como sistema de defensa contra el ataque microbiano, la depredación de herbívoros o la competencia de otras plantas, inhibiendo la germinación y el crecimiento de las plantas vecinas (Khamare et al., 2022). Los aleloquímicos se liberan de las plantas por varias vías, por descomposición parcial de la hojarasca en el suelo, exudación de raíces, volatilización de las hojas, y otros procesos en los sistemas naturales y agrícolas (Anaya, 1999).

Estos aleloquímicos tienen la capacidad de interferir con la germinación de las semillas y el crecimiento de las plantas, al alterar diversos procesos fisiológicos, como la fotosíntesis, la respiración, el equilibrio hídrico y la producción de fitohormonas (Arif et al., 2022).

Es por ello que es un problema cuando la hojarasca de *E. globulus* que contiene estos compuestos (tabla 4 anexo), es colocada en la superficie del suelo sin ningún tratamiento, incrementando la cantidad de aleloquímicos en el suelo, reduciendo la germinación y crecimiento vegetal (Tyler, 2015; Martins et al., 2013). Los aleloquímicos se pueden clasificar en 14 grupos en función de sus estructuras (Cheng, 2015):

- Ácidos orgánicos solubles en agua, alcoholes de cadena lineal, aldehídos alifáticos y cetonas
- Lactonas insaturadas simples

- Ácidos grasos de cadena larga y poliacetilenos
- Benzoquinona, antraquinona y quinonas complejas
- Fenoles simples, ácido benzoico y sus derivados
- Ácido cinámico y sus derivados
- Cumarina
- Flavonoides
- Taninos
- Terpenoides y esteroides
- Aminoácidos y péptidos
- Alcaloides y cianohidrinias
- Sulfuro y glucosinolatos
- Purinas y nucleósidos

### **2.5. Alelopatía: fenoles, taninos y flavonoides**

*Eucalyptus globulus* tiene predominantemente aleloquímicos de tipo fenoles, taninos y flavonoides (Rizvi et al., 1999). El aleloquímico más representativo en los fenoles es el ácido benzoico, en los taninos el ácido tánico y en los flavonoides es la naringenina; estos aleloquímicos tienen los mismos efectos perjudiciales aunque pueden variar según diversos factores como la especie, climáticos, etc. (Khamare et al., 2022).

Los compuestos fenólicos son los principales aleloquímicos presentes en el ecosistema, y su presencia en el suelo tiene un impacto en la disponibilidad de nutrientes y el desarrollo de las plantas. El estudio de Arif et al., 2022, reveló que compuestos fenólicos, como los ácidos benzoico y cinámico, aplicados sobre el crecimiento de plantas de la familia Poaceae, interrumpieron el proceso respiratorio, lo que dificultó el crecimiento de las plantas.

## **2.6. Descripción del proceso de compostaje**

De acuerdo con Cegarra (1994), el compost es un resultado obtenido mediante la descomposición biológica de materiales orgánicos frescos provenientes de desechos de origen animal y vegetal. Estos materiales son sometidos a procesos de descomposición aeróbica y estabilización. Durante estos procesos, los microorganismos presentes en el compost se nutren de la materia orgánica y la convierten en una forma más estable. Los materiales que se utilizan en la producción del compost incluyen, entre otros, materia vegetal, estiércol animal, tierra y otros residuos orgánicos (Paul et al., 1940).

## **2.7. Relación C/N**

La relación entre el carbono y el nitrógeno total presente en el sustrato se conoce como relación carbono/nitrógeno (C/N) (FAO, 2013), para los microorganismos el carbono representa la energía necesaria para descomponer la materia orgánica, mientras que el nitrógeno es necesario para construir sus estructuras celulares (Gamarra et al., 2018); Cuando la relación C/N está entre 15/1 y 35/1 se establece un equilibrio entre el N consumido y el liberado (FAO, 2013).

## **2.8. Temperatura**

La temperatura puede variar ampliamente según la etapa del proceso. Es recomendable mantener una temperatura elevada durante las primeras semanas, ya que a medida que aumenta la temperatura y el tiempo, se acelera la descomposición y se logra una mayor higienización. Este aspecto se puede medir utilizando un termómetro (Study, 2014).

El proceso de descomposición de la materia orgánica varía en diferentes fases del compostaje, las cuales se clasifican según la temperatura (figura 3 anexo). La primera fase es la mesofílica, que tiene una duración de unos días. Inicialmente, el proceso comienza a

temperatura ambiente y en poco tiempo, incluso horas, la temperatura alcanza los 45°C (FAO, 2013). Este aumento de temperatura se atribuye a la actividad de los microorganismos mesofílicos, los cuales descomponen fácilmente los compuestos solubles y generan calor durante el proceso de descomposición (Study, 2014).

La segunda fase es la termófila, donde la temperatura supera los 45°C. En esta fase, los microorganismos mesofílicos son reemplazados por los termofílicos, ya que estos últimos tienen la capacidad de prosperar en temperaturas más altas (Vallini, 2018). En esta fase se degrada la mayoría de compuestos difíciles de digerir como por ejemplo la lignina, aleloquímicos, etc; y la MO llega a temperaturas muy altas, pudiendo llegar a más de 60°C, y cuando la temperatura alcanza niveles entre 60 y 65°C, es necesario remover o airear la pila para prevenir la muerte de los organismos beneficiosos (FAO, 2013).

La última etapa del proceso de compostaje es conocida como fase de maduración o enfriamiento. Durante esta etapa, la temperatura del compost disminuye gradualmente, hasta llegar a temperatura ambiente, la cual indica que las fuentes de carbono y, especialmente, el nitrógeno en el material en proceso de compostaje se han agotado (Vallini, 2018). En esta etapa, se lleva a cabo la descomposición de polímeros como la celulosa, y se pueden observar hongos a simple vista (Study, 2014). Los microorganismos mesófilos retoman su actividad al degradar la celulosa y la lignina restante, lo que conduce a la formación de sustancias húmicas a través de la acción de hongos y bacterias, mientras que el pH disminuye ligeramente y la demanda de oxígeno se reduce. Esta etapa requiere varias semanas o meses para completarse (FAO, 2013).

## **2.9. Aireación**

Al inicio de la actividad oxidativa, la concentración de oxígeno en los poros es aproximadamente del 15-20% (similar a la concentración atmosférica), mientras que la concentración de CO<sub>2</sub> varía entre 0,5% y 5%. (Bari & Atauzzaman, 2020).

Conforme avanza la actividad biológica, la concentración de oxígeno disminuye y la del CO<sub>2</sub> aumenta. Si la concentración de oxígeno desciende por debajo del 5%, se generan condiciones anaeróbicas, produciéndose una alta acidez por la acumulación de ácidos orgánicos producto de una anterior descomposición, pérdida de nitrógeno en forma de amoníaco, entre otros compuestos provocando mal olor y toxicidad; es por ello que se realizaron volteos periódicos a los compostajes (Bari & Atauzzaman, 2020).

## **2.10. pH**

El pH óptimo para los microorganismos del compost varía entre 5.5 y 8.5. Durante las primeras etapas del proceso, el pH disminuye rápidamente debido a la formación de ácidos orgánicos, lo cual favorece el crecimiento de hongos (generalmente acidófilos) y la descomposición de la celulosa y la lignina (Vallini, 2018).

Durante la fase termófila, debido a la conversión del amonio en amoníaco, el pH aumenta y el medio se vuelve alcalino. El amoníaco neutraliza los ácidos presentes, lo que finalmente estabiliza el compost y lo lleva a valores cercanos a la neutralidad (FAO, 2013).

## **2.11. Tamaño de la partícula**

La actividad microbiana está influenciada por el tamaño de las partículas (Mishra, 2015). Para promover una mayor superficie específica y facilitar el acceso al sustrato, se recomienda que los restos a compostar sean de tamaño pequeño. Esto favorece la descomposición

microbiana y aumenta la tasa de descomposición. El tamaño ideal de los materiales para iniciar el compostaje es de 5 a 20 cm (Mishra, 2015).

### **2.12. Humedad**

Se considera que un contenido de humedad del 50 al 60% es óptimo, aunque puede variar según el estado físico y el tamaño de las partículas. Contenidos de humedad inferiores, de 35 a 45%, inhiben la actividad microbiana (Luangwilai et al., 2012). Si la humedad es demasiado alta (superior al 60%), el exceso de agua saturará los poros y dificultará la oxigenación del material, creando condiciones anaeróbicas que ralentizan la descomposición y provocan olores desagradables (Luangwilai et al. 2012).

### **2.13. Características taxonómicas y descripción botánica de la *Lactuca sativa***

Según la clasificación APG IV, *Lactuca sativa* pertenece al siguiente taxón (Chase et al., 2016):

- Reino: Plantae (plantas)
- Subreino: Tracheobionta (plantas vasculares)
- Superdivisión: Spermatophyta (plantas con semillas)
- División: Magnoliophyta (plantas con flores)
- Clase: Magnoliopsida (dicotiledóneas)
- Orden: Asterales
- Familia: Asteraceae (compuestas)
- Género: *Lactuca*
- Especie: *Lactuca sativa*

*Lactuca sativa* es una planta herbácea anual sin pelos, que presenta una raíz primaria delgada y un tallo erecto que puede alcanzar una altura de 30 a 100 cm. El tallo se ramifica en la parte superior. Su raíz es pivotante, posee un eje principal poco ramificado y con látex, esta puede llegar hasta más de 1.5 m de profundidad. Es una planta acaule en su etapa comercial, cuando esta culmina el tallo se alarga hasta 1 m aproximadamente, dando lugar a las flores (Granval de Millán & Gaviola, 1991).

Las hojas son lanceoladas, redondas y oblongas, por lo general las hojas son verdes y de bordes lisos y suaves. Están dispuestas en espiral, formando una roseta densa o una cabeza antes de florecer. Su forma es oblonga a elíptica transversa, orbicular a triangular, indivisa a pinnatisecta (Křístková et al. 2008).

#### **2.14. Sensibilidad de la *Lactuca sativa* ante fitotoxícos**

Una de las formas de evaluar el potencial alelopático de una especie es a través de ensayos con especies sensibles al proceso de alelopatía, estos ensayos consisten en exponer a la especie sensible a diferentes concentraciones o extractos de la especie evaluada y evaluar su germinación, crecimiento y desarrollo, en este caso se evaluó su desarrollo en compostajes que inicialmente fueron alelopáticos. El uso de *Lactuca sativa* está indicado en estos estudios porque presenta un alto grado de sensibilidad y que permite obtener respuestas de los resultados incluso con concentraciones mínimas de aleloquímicos (Souza & Furtado, 2002).

### III. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

#### 3.1. Objetivo general

Evaluar la eficacia del compostaje para reducir la capacidad alelopática de la hojarasca de *E. globulus* var. compacta utilizando como indicador el cultivo de *Lactuca Sativa*.

#### 3.2. Objetivos específicos

- Determinar la presencia de los aleloquímicos (ácidos fenólicos, flavonoides y taninos) de *Eucalyptus globulus* var. compacta, antes y después del proceso de compostaje en los tratamientos.
- Determinar la formulación de compostaje más efectiva para reducir los aleloquímicos de la hojarasca de *Eucalyptus globulus* var. compacta.
- Analizar las respuestas morfológicas y fisiológicas de la planta indicadora (*Lactuca sativa*) en los diferentes tratamientos de compostaje finalizado.

#### 3.3. Hipótesis

El compost elaborado a base de hojarasca alelopática de *Eucalyptus globulus* var. compacta reduce de forma efectiva los aleloquímicos permitiendo el desarrollo normal de plantas indicadoras como la lechuga.

### IV. METODOLOGÍA

#### 4.1. Lugar de estudio

El presente experimento se llevó a cabo en 45 m<sup>2</sup>, en el distrito de San Isidro, Lima, Perú. Encontrándose a una latitud de 12°6'8.09"S, longitud 77°3'35.64"O, altura de 65 msnm, temperatura promedio de 18.6 °C y humedad relativa de 83% (SENAMHI, 2021); cuenta con

climas ideales para el desarrollo vegetativo de las lechugas en la temporada de verano. La estación de verano en Lima inicia en diciembre y culmina en abril, con temperaturas de 24-26°C durante el día, 19-21°C durante la noche, y humedad relativa de 82% (Molina, 1999).

## **4.2. Manejo del proyecto**

### **4.2.1. Obtención de la hojarasca**

Se compraron 36.3 kg del material rico en carbono, el cual fue hojas frescas de *E. globulus* var. compacta. La hojarasca se compró a la empresa proveedora de insumos agrícolas Cultivos Katt (Semillas A&S), ubicado en Av. 9 de Octubre, N° S/N Mercado de Flores Piedra Liza, sección Hurochir, Pto. 177, distrito de Rimac, Región de Lima, Perú.

### **4.2.2. Obtención de estiércol bovino seco**

Se compraron 92 kg del material rico en nitrógeno con el fin de suplir las necesidades de cada tratamiento (tabla 1), el cual fue estiércol bovino seco, siendo rico en nitrógeno y mesofauna benéfica (Del Pino et al., 2007). El estiércol se compró a la empresa proveedora de insumos agrícolas Cultivos Katt (Semillas A&S), ubicado en Acho 15093, Av. 9 de Octubre, Pto. 177, distrito de Rimac, Región de Lima, Perú.

### **4.2.3. Secado, triturado y análisis de la hojarasca**

El secado y triturado se hizo con la intención de aumentar la superficie específica del material rico en carbono, facilitando el acceso microbiano y llevándolo a una descomposición más rápida y óptima. El secado se realizó al aire libre; aproximadamente 5 días después de ser expuestas al sol, se recogió en bolsas grandes y se trituraron manualmente. Una vez obtenida la hojarasca seca y triturada, parte de esta pasó a ser analizada químicamente, para

posteriormente comparar el porcentaje de aleloquímicos presentes en cada tratamiento maduro. El análisis se llevó a cabo por el Laboratorio Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.A.C. SLAB Calle 22 Urb. Vipol naranjal Mz E Lt 07, distrito de San Martín de Porres, Región de Lima, Perú. (Figura 31 anexo).

#### **4.2.4. Elaboración de las cajas composteras**

Se acondicionaron 5 cajas composteras en total (Figura 15 anexo), 3 cajas composteras de 0.5 m de lado ( $0.125 \text{ m}^3$ ) y otras 2 cajas composteras de 0.5, 0.5 y 1m de lado ( $0.25 \text{ m}^3$ ), puesto que algunos tratamientos tienen más volumen por cantidad de hojarasca. Se hizo un orificio en la parte baja para la fuga de los lixiviados, los cuales vienen a ser la parte líquida del compost creada por la descomposición de la MO o por el exceso de humedad; se hicieron 5 agujeros de 2 cm de diámetro en la tapa del compost, para facilitar el intercambio gaseoso con el exterior, fuga de calor emitido por el compost. El material de las cajas de compostaje fue de poliestireno, ya que es un material inerte, liviano, y que se mantiene vítreo a temperaturas menores a los  $95\text{-}100 \text{ }^\circ\text{C}$  (Rogers, 2015).

#### **4.2.5. Elaboración del compost**

Para la elaboración del compost con hojarasca de *E. globulus* var. compacta se elaboró una lista en 5 pasos.

1. En el piso de las cajas composteras se consideró una ligera inclinación para la salida de los lixiviados. Esto se hizo poniendo una madera de 3 cm de altura en la parte trasera de las cajas, teniendo consigo una inclinación de 5 grados aproximadamente.

2. En la base se colocó una capa de 5 cm de hojarasca no triturada de *E. globulus* var. compacta; las hojas se dispondrán homogéneamente para favorecer el drenaje y la aireación, evitando así que se creen condiciones de anaerobiosis por compactación.
3. Encima de la hojarasca alelopática no triturada de *E. globulus* se aplicó homogéneamente una capa de estiércol bovino seco, seguido de otra capa de hojarasca triturada, y así sucesivamente hasta que se acabe la cantidad de hojarasca dispuesta según sea el tratamiento; el grosor de cada capa dependió del tipo de tratamiento.
4. Se humedeció el compost apenas terminó el apilamiento, y luego de 30 minutos, el agua filtrada se vertió al compost, con el fin de tener la pila lo más húmeda posible.
5. Finalmente se cerró la caja compostera con la tapa agujereada.

### 4.3. Parámetros del compost

Los 6 parámetros básicos a tener en cuenta a la hora de realizar el compost fueron tomados en cuenta, los cuales son: relación C/N, aireación, pH, temperatura, humedad y tamaño de la partícula. Y el respectivo manejo y monitoreo de cada uno.

#### 4.3.1. Relación C/N

Para saber con precisión la cantidad de cada material que se aplicó en base a la relación C/N, se llevaron a cabo análisis de relación C/N mediante UV visible – Kjeldahl, en el Laboratorio Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.A.C. SLAB Calle 22 Urb. Vipol naranjal Mz E Lt 07, distrito de San Martín de Porres, Región de Lima, Perú; dando como resultado el %C y el %N de los materiales a compostar (tabla 4 anexo), los cuales fueron para la hojarasca alelopática de *Eucalyptus globulus* tiene 56.09 %C y 1.25 %N; y el estiércol bovino seco

tiene 40.12 %C y 2.11 %N, (Tabla 4 anexo). Luego se calculó la cantidad de material rico en carbono (MRC) por una parte del material rico en nitrógeno (MRN) que se debía mezclar para alcanzar la relación C/N establecida en cada tratamiento, para esto se usó la siguiente fórmula del botánico matemático español, José Celestino Mutis (1953).

Fórmula: 
$$\frac{(R \times \%Nn) - \%Cn}{\%Cc - (R \times \%Nc)} = \frac{\# \text{ de partes del material rico en C}}{1 \text{ parte del material rico en N}}$$

Donde:

R = relación (C/N) buscada.

%Nn = porcentaje de N en el material rico en N.

%Cn = porcentaje de C en el material rico en N.

%Nc = porcentaje de N en el material rico en C.

%Cc = porcentaje de C en el material rico en C.

#### 4.3.2. Aireación

Se hicieron volteos cada 10 días pasado la fase termófila; los volteos se realizaron con ayuda de un palo de bambú de 1 m de longitud, removiendo el compost en forma de batido circular, para la correcta oxigenación de esta.

#### 4.3.3. pH

En cada fase del compost se tomaron tres muestras con ayuda de un peachímetro digital genérico (figura 29 anexo), se combinó y se diluyó 1 de compost en 10 de agua destilada, se agitó fuertemente por 2 minutos hasta homogenizarlo, se dejó en reposo durante 2 minutos, volviéndose a agitar durante 2 minutos, con el fin de llegar a la máxima homogenización, para una medición más exacta. Se hundió el peachímetro cerciorándose de que el electrodo esté en contacto con la parte líquida mientras da las mediciones.

#### 4.3.4. Temperatura

Se hicieron tres mediciones promediando el resultado, en las cuatro fases del compost con ayuda del medidor de suelo electrónico 4-en-1 de la marca Gaqgee (figura 30 anexo); se hicieron mediciones diarias en la fase termófila, con el fin de controlar el calor excesivo. Las mediciones se hicieron dejando el termómetro hundido en medio del compost durante 5 minutos, luego se retiraron y se apuntaron las mediciones.

#### 4.3.5. Humedad

Se hizo un riego inicial de 20 L ya que el compost puede retener más del doble de agua que su peso (FAO, 2013) y luego riegos de 5 L cada 5 días con el fin de mantener una adecuada humedad; cada vez que se humedezca, el riego fue meticuloso para evitar encharcamientos, y en caso se encharcara, se aplicaría el método del volteo, lixiviando el agua sobrante.

#### 4.3.6. Tamaño de la partícula

El tamaño de la partícula se trató triturando la hojarasca como se mencionó anteriormente, con la finalidad de acelerar el proceso de compostaje y que la descomposición sea más efectiva. Como muestra representativa se cogió 20 hojas al azar cada 10 kg de hojarasca y se midió el largo de estas, si más de la mitad de hojas se encontraban entre los rangos de menos 15cm a 20cm (FAO, 2013) se utilizarían esos 10 kg para compostaje.

#### 4.3.7. Tratamientos

La investigación se dividió en dos etapas. Primera etapa: elaboración del compost con una duración de 4 meses, donde se compostaron diferentes combinaciones de hojarasca de *E. globulus* var. compacta y estiércol bovino seco. Segunda etapa: siembra de *Lactuca sativa* en

los compost preparados con una duración de 5 semanas. La *Lactuca sativa*, fue la especie que ayudó a evidenciar si el crecimiento vegetal es posible en los compostajes finalizados; y a su vez saber cuál da mejores resultados. Para los tratamientos con *Lactuca sativa* la cantidad aproximada de compost por maceta de 3 L, fue de 2.5 kg.

Los tratamientos de compostaje se realizaron con diferentes concentraciones de hojarasca alelopática de *E. globulus* var. compacta en las cajas de poliestireno, y el control se realizó compostando únicamente el estiércol bovino seco; todos a un peso inicial mínimo de 25kg para llegar a las temperaturas óptimas. Los tratamientos de compostaje se presentan en la (tabla 1.).

El requerimiento total del compost para realizar los tratamientos con las lechugas fue de 62.5 kg, pero la suma total inicial de los tratamientos de compostaje fue de 128.2 kg, esto debido a que a medida que progresa el proceso de compostaje, el tamaño disminuye y la densidad aumenta, llegando a reducirse hasta en un 50%. Este fenómeno se debe principalmente a la compactación, la pérdida de carbono en forma de CO<sub>2</sub> y la pérdida de agua. (FAO, 2013).

**Tabla 1.** Formulación de compostaje con diferentes cantidades basadas en la relación C/N.

Tratamientos	Dosis de hojarasca de <i>E. globulus</i> var. compacta	Dosis de estiércol bovino seco	Relación C/N	# partes del MRC por 1 parte del MRN	Peso inicial
T1	1.3 kg	24 kg	20/1	0.0557	25.3 kg
T2	7 kg	18 kg	25/1	0.3905	25 kg
T3	11.9 kg	14 kg	30/1	0.8478	25.9 kg
T4	15.1 kg	10 kg	35/1	1.5098	25.1 kg
Control		25 kg	19/1		25 g

#### 4.4. Análisis químico del compost

Se analizó químicamente la presencia de aleloquímicos (%) en la hojarasca de *E. globulus* var. compacta, el análisis se llevó a cabo en el Laboratorio Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.A.C. SLAB Calle 22 Urb. Vipol naranjal Mz E Lt 07, distrito de San Martín de Porres, Región de Lima, Perú.. Se utilizó la espectrofotometría UV – visible para la determinación de flavonoides, taninos y fenoles; la metodología para la determinación de flavonoides fue el método de aluminio-cloruro (Swain & Hillis, 1959), para taninos fue el método de la vanilina (Price & Butler, 1977), y para los fenoles fue el método de Folin-Ciocalteu (Folin & Ciocalteu, 1927). De la misma forma, se analizó el estiércol bovino seco para descartar presencia o ausencia de aleloquímicos.

Una vez pasado los 4 meses y finalizados los tratamientos de compostaje (composts maduros), se sacaron 5 muestras al azar de 200 gramos por tratamiento, se combinaron y se enviaron las 5 bolsas al laboratorio, donde se midió una vez más la presencia de aleloquímicos para comparar la variación de los mismos al inicio y al final de los compostajes.

#### 4.5. Cosecha del compost

Para comprobar la maduración del compost, se voltearon los composts, si la temperatura no aumentaba en un corto periodo tiempo, se considera que el proceso de compostaje ha finalizado. No obstante, existen otras pruebas que se pueden realizar para verificar esta etapa (Lamp'l, 2017). Después de realizar el volteo y corroborar que no subió la temperatura, se tomaron muestras del material compostado y se metieron en bolsas plásticas transparentes; se dejaron las bolsas durante dos días en un lugar fresco y seco. Si la bolsa aparecía hinchada

(con aire) y con condensación de humedad, sería un indicativo de que el proceso aún no ha finalizado. En ese caso, el compost seguiría el proceso hasta que llegue a su finalización.

#### 4.6. Obtención de las semillas de las plantas modelo

Las semillas de *Lactuca sativa*, fueron compradas a la empresa certificada Hortus S.A., por lo que se tenía la seguridad de tener una semilla con buenas condiciones sanitarias y germinativas.

#### 4.7. Tratamientos de *Lactuca sativa* y siembra de semillas

Se utilizaron 25 macetas de 3 litros, con medidas de 15 cm de diámetro y 13 cm de alto. Los 5 tratamientos de compostaje maduro fueron distribuidos en 2.5 kg por maceta y con 5 repeticiones por tratamiento respectivamente. La disposición de las macetas se presenta en la tabla 2.

**Tabla 2.** *Tratamientos de Lactuca sativa, repeticiones*

T1 (C/N 20)	●	●	●	●	●
T2 (C/N 25)	●	●	●	●	●
T3 (C/N 30)	●	●	●	●	●
T4 (C/N 35)	●	●	●	●	●
T0 (C/N 19)	●	●	●	●	●
Total de macetas: 25					

El sembrado y la etapa de emergencia de las lechugas se realizó en las mismas macetas con sus respectivos tratamientos, esto con el fin de poder analizar el porcentaje germinativo y tener una investigación más completa. Se pusieron 10 semillas por maceta, de las cuales por

aleatoria solo quedó 1 (para no crear sesgos), y se midió el porcentaje de germinación. Las lechugas restantes fueron desechadas.

#### **4.8. Mantenimiento de las plantas modelo para extracción de datos**

Las macetas como almácigos se mantuvieron en un espacio de semi-sombra, con 3 horas de luz directa al día, se regaron cada 2 a 3 días, dependiendo la luminosidad/temperatura del día. Pasados los 7 días, las macetas se pusieron en un espacio con el doble de luz solar directa al día, ya que la planta tuvo la fuerza suficiente para resistir al sol y crecer en las condiciones lumínicas adecuadas.

#### **4.9. Población y muestra**

La población fue representada por las plántulas de *Lactuca sativa* en los 5 tratamientos, las cuales fueron 25; mientras que la muestra estuvo representada por las 250 semillas de *Lactuca sativa* distribuidas en 10 cada maceta.

#### **4.10. Indicadores vegetales**

Al cabo de 7 días después del cultivo de semillas se obtuvo el porcentaje germinativo, y a las 4 semanas después de hallar el porcentaje germinativo (es decir a las 5 semanas desde el cultivo de semillas), se hicieron las mediciones de los indicadores vegetales a evaluar, de los tratamientos y control. Los parámetros a medir fueron el área foliar (AF), el peso fresco (PF) y peso seco (PS).

##### **4.10.1. Porcentaje de germinación**

El porcentaje de germinación se determinó mediante observación de la cantidad de semillas germinadas del total de semillas cultivadas por maceta a los 7 días de haberlas sembrado.

Fórmula:

$$\frac{100 \text{ (No. plántulas emergidas al día 5)}}{\text{No. total plántulas}}$$

#### **4.10.2. Área foliar (AF)**

El área foliar se halló tomándole foto a cada hoja estirada (con una regla al costado para escalarla) y calculando su área (cm<sup>2</sup>) por planimetría con ayuda de AutoCAD, versión 2021. El cálculo del AF se realizó sumando todas las áreas de las hojas calculadas por planta en su respectiva repetición, y el AFT sumando todas las áreas por tratamiento.

#### **4.10.3. Peso fresco (PF) y seco (PS)**

Se limpió y pesó el vástago y raíces para determinar el PF (gr), pudiendo hallar de ahí también el peso total. Se hizo lo mismo para determinar el PS, se secó el vástago y raíces colocándose en deshidratadora Excalibur 9-Tray a 70 °C durante 48 horas, y luego se pesó en una balanza digital SF-400.

#### **4.11. Procesamiento y análisis de datos**

Para este estudio, se consideró la distribución de tratamientos de forma aleatoria entre las unidades experimentales, logrando un diseño experimental completamente al azar (DCA). Sin embargo, para las variables continuas que no muestren una distribución normal, se ha decidido no trabajar con el modelo DCA y ANOVA, optando por pruebas no paramétricas como la de Kruskal-Wallis.

Los resultados se presentaron como promedios de 5 repeticiones por cada tratamiento, se empleó la media aritmética como indicador para las pruebas estadísticas para obtener una muestra suficiente y reducir el error experimental. Se calcularon los estadísticos descriptivos

(Tabla 8 anexo), correspondientes a cada variable dependiente en el estudio: porcentaje de germinación (%), área foliar ( $\text{cm}^2$ ), peso fresco (g) y peso seco (g). Según la cantidad de muestra ( $n < 50$ ), se procedió a comprobar si las variables de estudio seguían una distribución normal, mediante la prueba Shapiro Wilk; encontrándose que todas siguen una distribución normal ( $p > 0.05$ ), excepto el porcentaje de germinación ( $p < 0.05$ ) (tabla 9 anexo), al no cumplir con distribución normal, se realizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis (Tabla 15 anexo).

Asimismo, se evaluó la homogeneidad de las varianzas utilizando la prueba de Levene. Una vez confirmados estos supuestos, se llevó a cabo el análisis de varianza unidireccional (ANOVA de una vía) completo con cada una de las variables dependientes, empleando los tratamientos como variable de agrupamiento; a fin de comprobar la existencia de diferencia significativa entre ellos (tabla 11 anexo).

Para la variable del porcentaje de germinación (%), al no cumplir con la distribución normal se aplicó la prueba no paramétrica Kruskal-Wallis, para evaluar si existen diferencias significativas entre los tratamientos (tabla 15 anexo); de la misma manera se concluye que no hay diferencias significativas ( $\text{sig} = 0.117$ ,  $\text{sig} > 0.05$ ) entre los grupos o las variables medidas (tabla 15 anexo). Finalmente, se aplicaron pruebas post-hoc de tipo Tukey HSD, para comparar en pares (dos a dos) los tratamientos y definir grupos homogéneos. Los datos se registraron en una hoja de cálculo de Microsoft Excel y se introdujeron en un cuadro en Microsoft Word (2013). Posteriormente, se analizaron utilizando el programa SPSS Statistics, versión 22.

## V. RESULTADOS

Como se mencionó anteriormente, los resultados obtenidos se efectuaron con el programa estadístico SPSS Statistics 22, en las cuales todas las variables presentadas cumplieron con la prueba de normalidad, a excepción del porcentaje de germinación.

El tratamiento 3 (C/N 30) fue el que presentó mayor reducción de aleloquímicos, mayor temperatura en la fase termófila en el compostaje y mejores variables vegetativas (los datos desarrollados y analizados en la investigación se presentan más adelante). El tratamiento 3 (C/N 30) fue producido con 11.87kg de hojarasca de *Eucalyptus globulus var. compacta* y 14 kg de estiércol bovino seco, por lo que se concluye que la fórmula (fuente: elaboración propia) para reducir la hojarasca alelopática de *Eucalyptus globulus var. compacta* combinado con estiércol bovino seco sería:

$$\frac{10 \times \text{MRC}}{8.47} = \text{MRN}$$

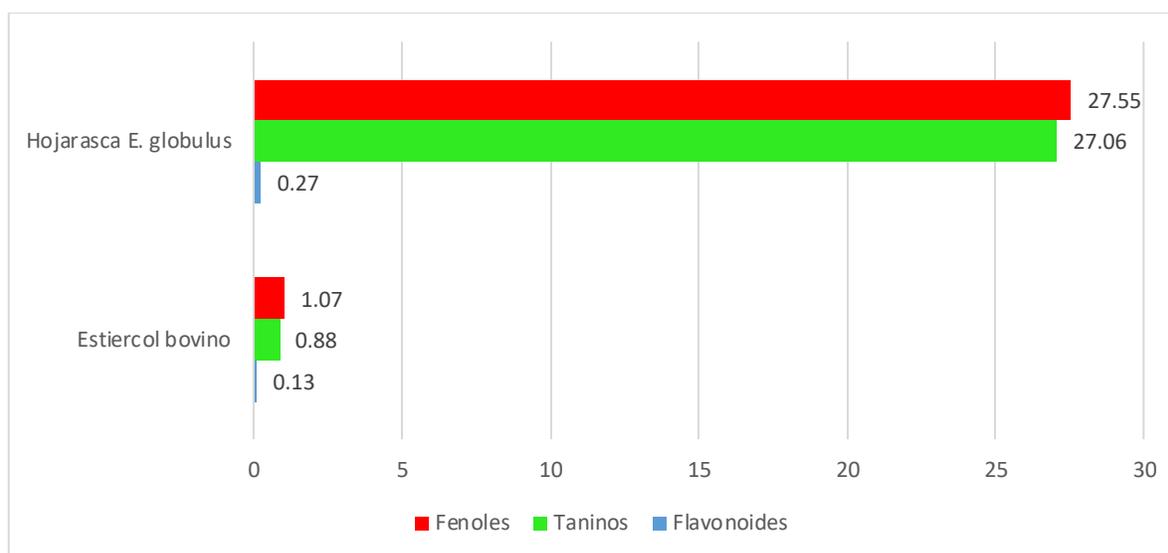
Donde:

- MRC = Material rico en carbono, donde irá en la fórmula la cantidad de hojarasca de *Eucalyptus globulus* a utilizar en el compostaje.
- MRN = Material rico en carbono, el resultado nos indicará la cantidad de estiércol bovino a utilizar en el compostaje

Nota: se puede utilizar la fórmula con cualquier unidad de medida (kg, gr, etc).

## 5.1. Tratamientos de compostaje (C/N)

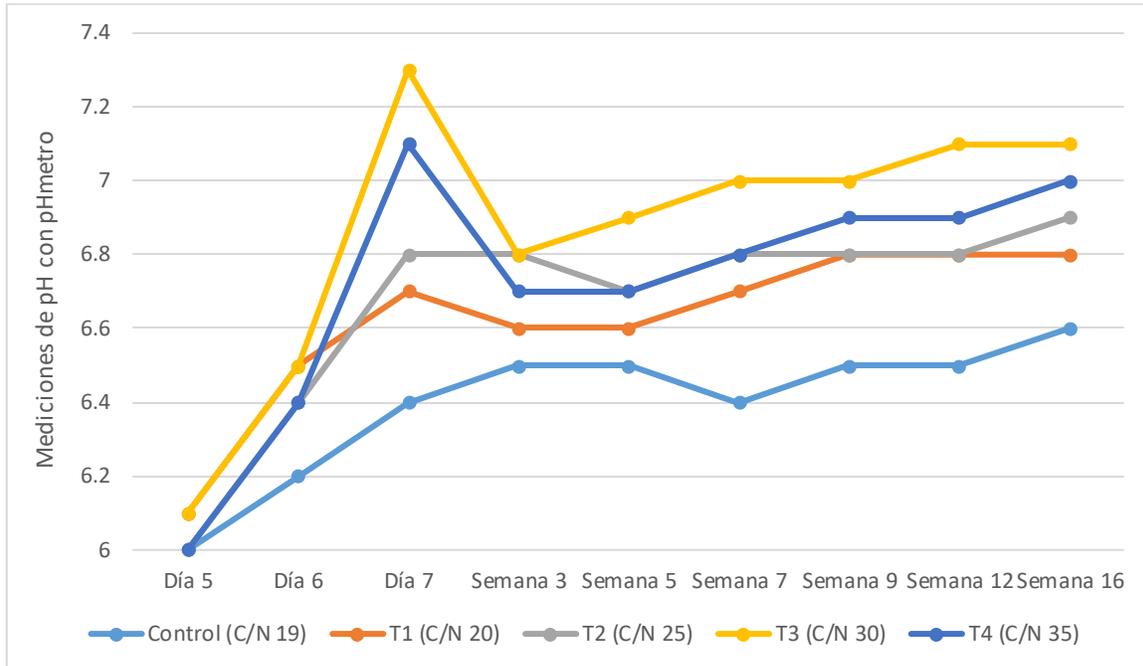
### 5.1.1. Cantidad de aleloquímicos iniciales (%) en hojarasca de *E. globulus* var. compacta y estiércol bovino seco



**Figura 1.** Porcentaje de aleloquímicos (fenoles, taninos y flavonoides) en hojarasca de *Eucalyptus globulus* var. compacta y estiércol bovino seco.

En la Figura 1 se muestran los resultados de las materias primas previos al compostaje (Tabla 4 anexo), el cual nos muestra que la hojarasca de *E. globulus* var. compacta tuvo como resultado un alto nivel de fenoles (27.55%) y taninos (27.06%), pero un muy bajo nivel de flavonoides (0.27%); de la misma manera se descartó que el estiércol bovino seco tuviera porcentajes de fenoles, taninos y flavonoides significativos, los cuales fueron muy bajos 1.07%, 0.88% y 0.13% respectivamente.

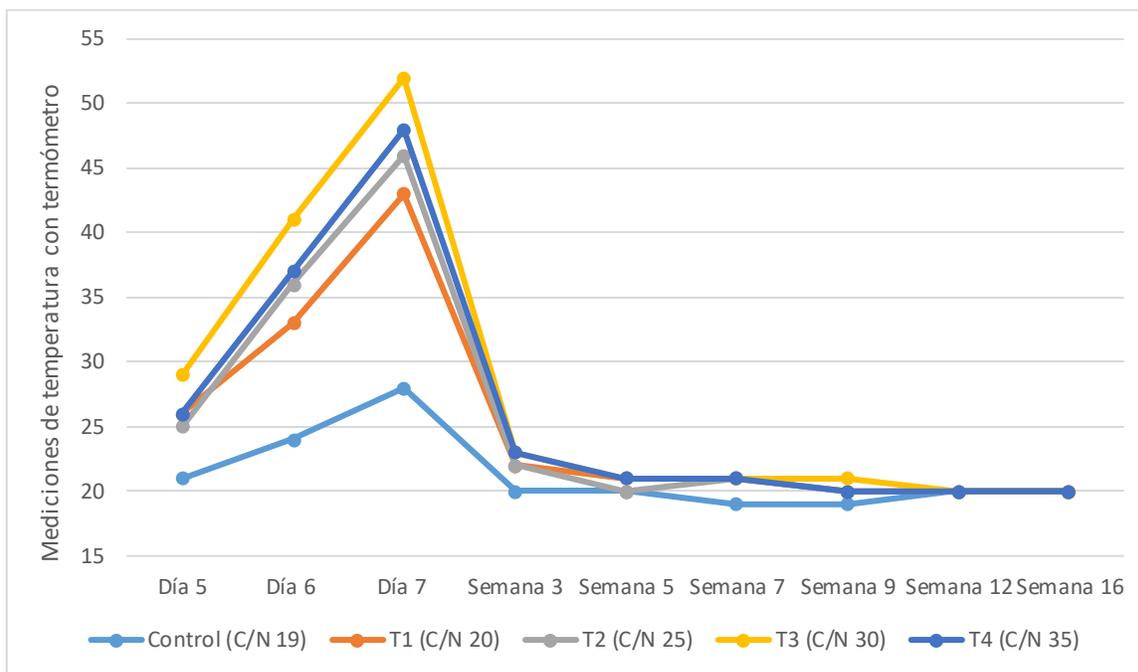
**5.1.2. Mediciones de pH a lo largo del compostaje**



**Figura 2.** Mediciones de pH durante todo el proceso de compostaje hasta la semana 16.

En la Figura 2 se muestran los resultados de pH (Tabla 6 anexo), el cual nos muestra la variación de pH durante todo el proceso de compostaje hasta la semana 16 en los tratamientos basados en relación C/N, teniendo valores más ácidos en el día 5 donde los tratamientos T3 (C/N 30) y T1 (C/N 20) presentaron pH = 6.1, y los tratamientos, control (C/N 19), T2 (C/N 25) y T4 (C/N 35) presentaron pH = 6. Valores más alcalinos en el día 7 donde el T3 (C/N 30) presentó pH = 7.3, seguido de T4 (C/N 35) (pH = 7.1), T2 (C/N 25) (pH = 6.8), T1 (C/N 20) (pH = 6.7) y el control (C/N 19) (pH = 6.4). Valores finales (compost estabilizado) en la semana 12 donde el T3 (C/N 30) presentó pH = 7.1, T4 (C/N 35) (pH = 6), T1 (C/N 20) y T2 (C/N 25) presentaron pH = 6.8 y control (C/N 19) (pH = 6.4).

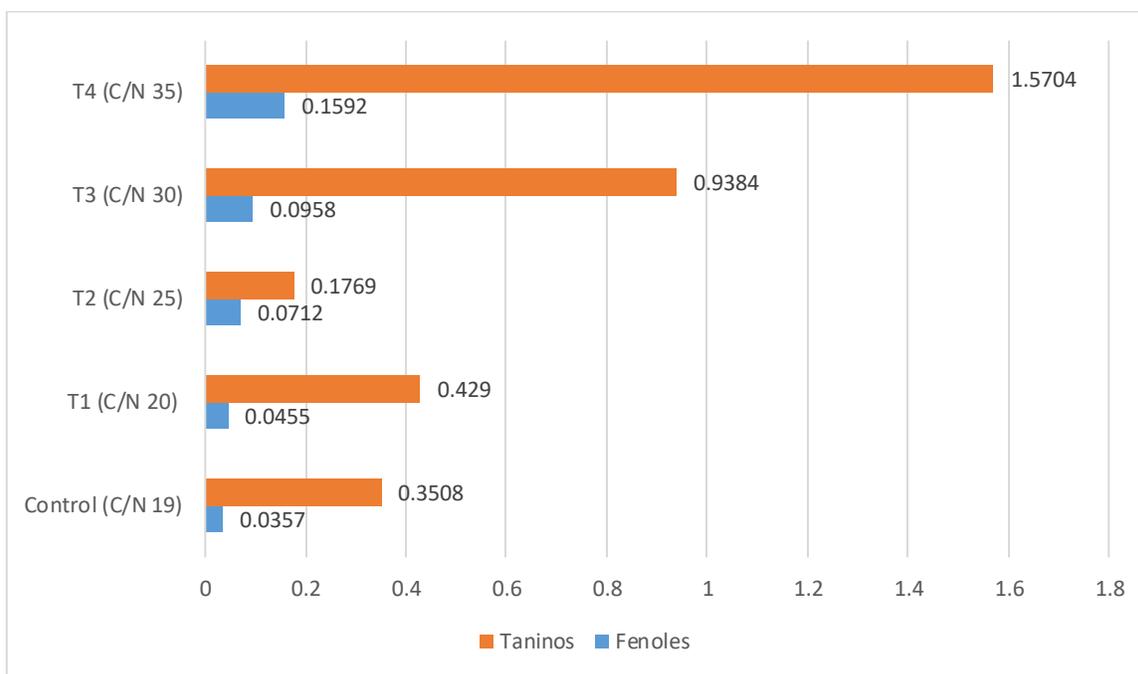
### 5.1.3. Mediciones de temperatura a lo largo del compostaje



**Figura 3.** Mediciones de temperatura (°C) durante todo el proceso de compostaje hasta la semana 16.

En la Figura 3 se muestran los resultados de la temperatura en Celsius (Tabla 6 anexo), el cual nos muestra la variación de temperatura durante todo el proceso de compostaje en los tratamientos basados en relación C/N, teniendo valores de menor temperatura en el día 5 donde los tratamientos, control (C/N 19) presentó 21°C, seguido de T2 (C/N 25) (25°C), T4 (C/N 35) y T1 (C/N 20) presentaron 26°C, y T3 (C/N 30) (29°C). Valores de mayor temperatura en el día 7 donde el T3 (C/N 30) presentó 52°C, seguido de T4 (C/N 35) (48°C), T2 (C/N 25) (46°C), T1 (C/N 20) (43°C) y control (C/N 19) (28°C). Valores finales (compost estabilizado) en la semana 12 donde todos los tratamientos presentaron una temperatura ambiente de 20°C.

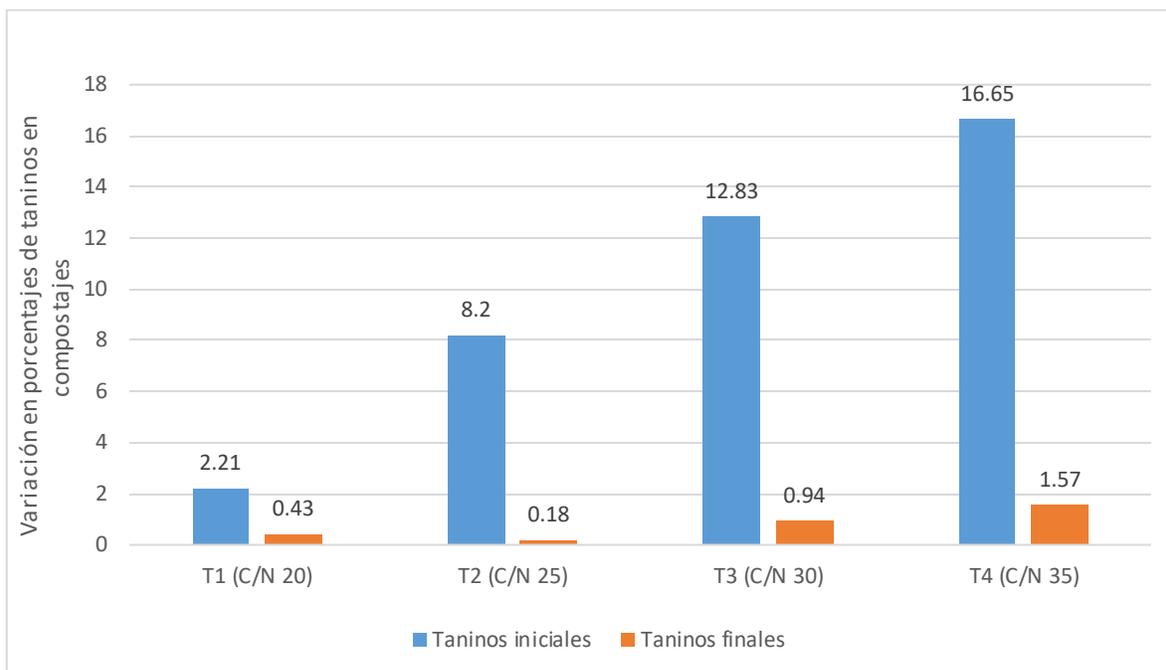
**5.1.4. Cantidad de aleloquímicos (%) más representativos en compostajes finalizados**



**Figura 4.** Cantidad de aleloquímicos (%) más representativos (taninos y fenoles) en tratamientos de compostaje finalizados (semana 16).

En la figura 4 se muestran los porcentajes de taninos y fenoles analizados una vez finalizado los tratamientos de compostaje (compostajes maduros), mediante espectrofotometría UV-visible, se determinaron los aleloquímicos en forma de fenoles (%) y taninos (%) ya que estos fueron los más representativos en la hojarasca de *E. globulus* Taninos (27.55%) y fenoles (27.06%), (Tabla 4 anexo). Los tratamientos finalizados redujeron considerablemente los porcentajes de aleloquímicos en los compostajes, teniendo una concentración final de fenoles de 0.0455% y de taninos de 0.3508% para el control (C/N 19) ; para T1 (C/N 20) fenoles = 0.0455% y taninos = 0.429%, T2 (C/N 25) fenoles = 0.0712% y taninos = 0.1769%, T3 (C/N 30) fenoles = 0.0958% y taninos = 0.9384%, T4 (C/N 35) fenoles = 0.1592% y taninos = 1.5704%.

### 5.1.5. Comparación de taninos (%) al inicio y final de los compostajes

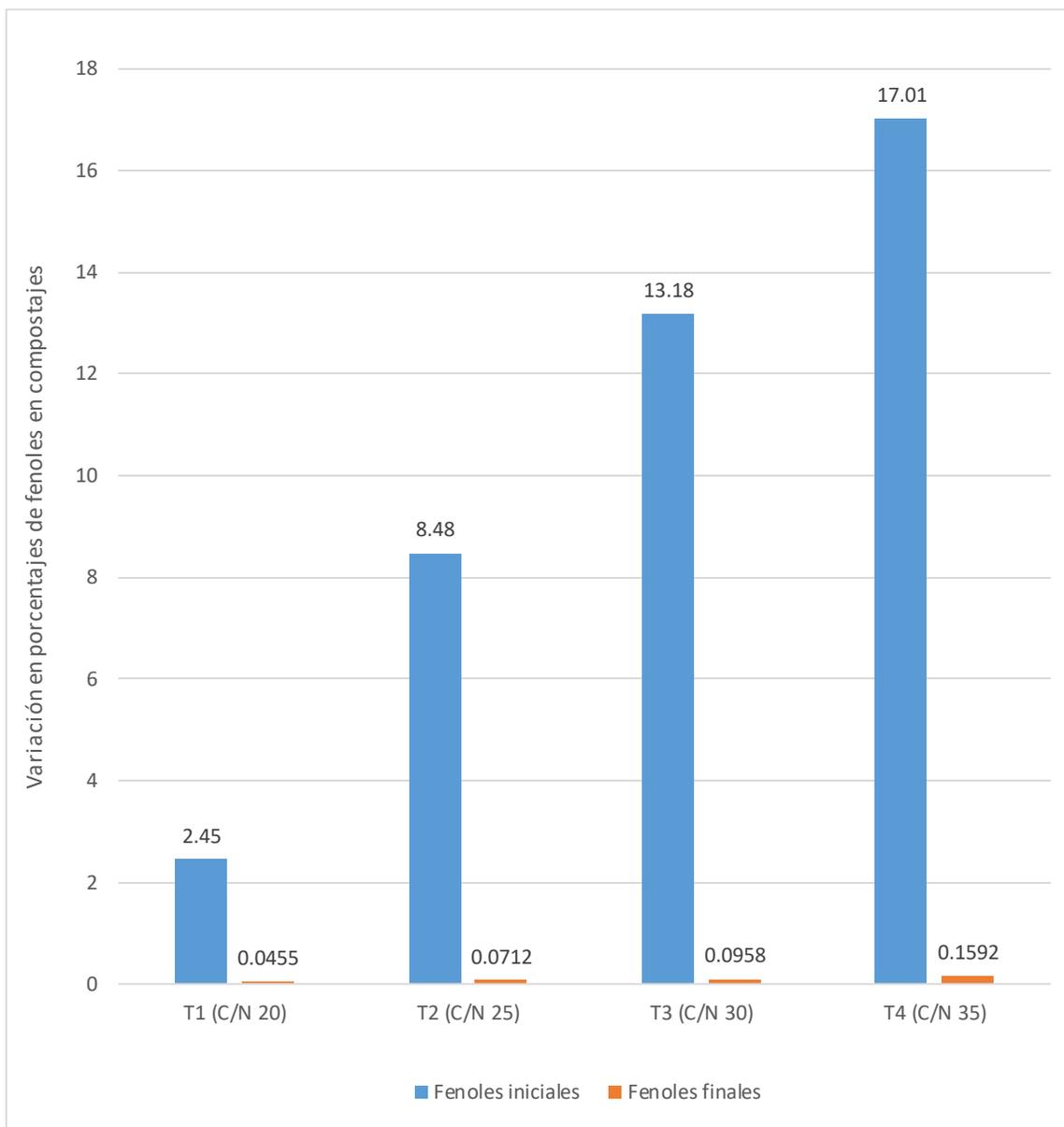


**Figura 5.** Comparación de taninos (%) analizados al inicio y al final de los tratamientos de compostaje.

En la Figura 5 se muestran los resultados de las cantidades de taninos (%) analizados previo a iniciar los tratamientos de compostaje comparados con la cantidad de taninos (%) analizados en los tratamientos de compostaje finalizados.

La cantidad de taninos (%) en T1 (C/N 20) se redujo en un 80.5%, en T2 (C/N 25) se redujo en un 97.8%, en T3 (C/N 30) se redujo en un 92.7%, y en T4 (C/N 35) se redujo en un 90.6%.

**5.1.6. Comparación de fenoles (%) al inicio y final de los compostajes**



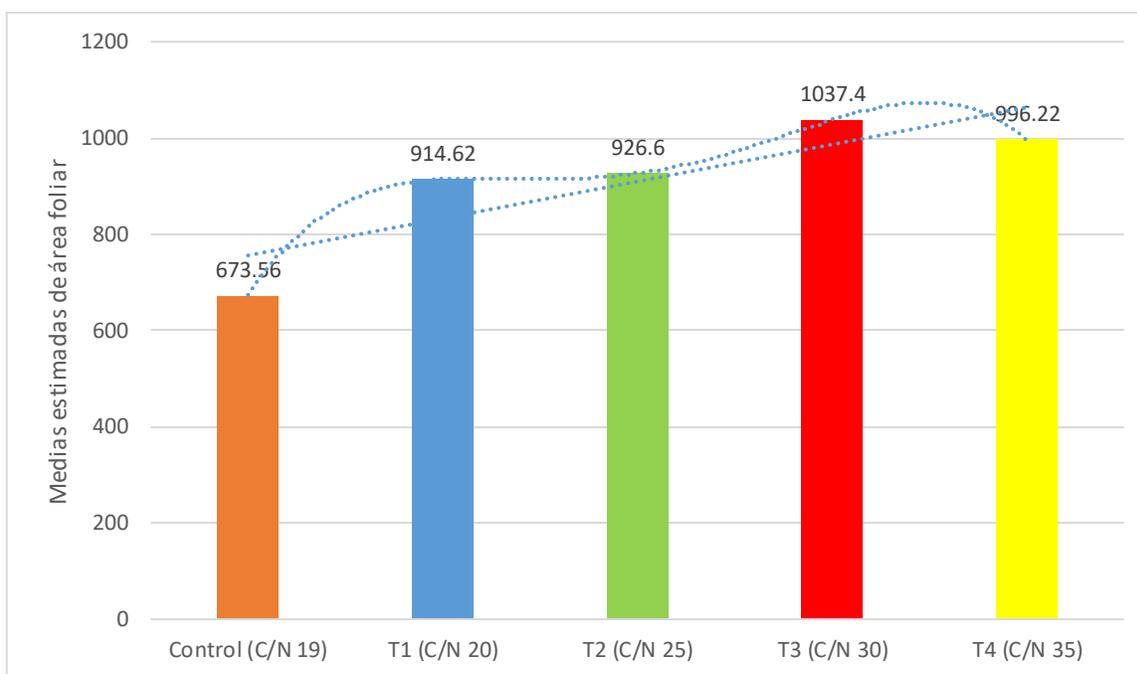
**Figura 6.** Comparación de fenoles (%) analizados al inicio y al final de los tratamientos de compostaje.

En la Figura 6 se muestran los resultados de las cantidades de fenoles (%) analizados previo a iniciar los tratamientos de compostaje comparados con la cantidad de fenoles (%) analizados en los tratamientos de compostaje finalizados.

La cantidad de fenoles (%) en T1 (C/N 20) se redujo en un 98.14%, en T2 (C/N 25) se redujo en un 99.16%, en T3 (C/N 30) se redujo en un 99.27%, y en T4 (C/N 35) se redujo en un 99.06%.

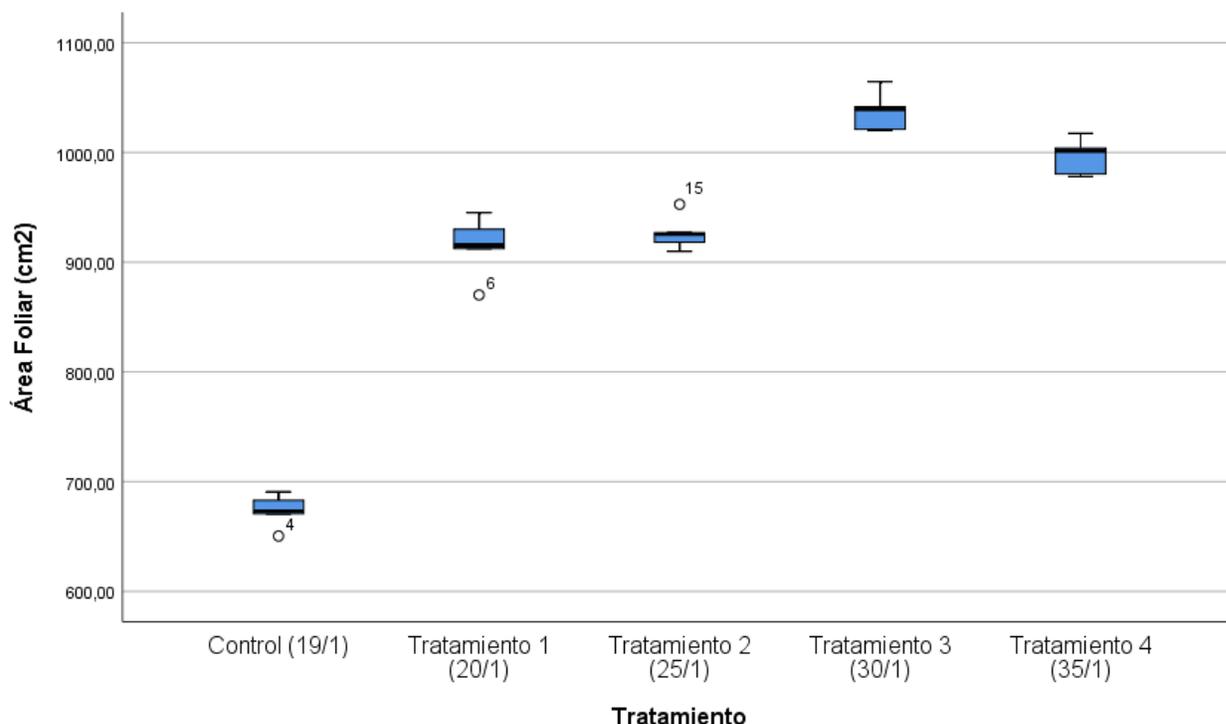
## 5.2. Tratamientos con *Lactuca sativa*

### 5.2.1. Interacción del área foliar (cm<sup>2</sup>) en los tratamientos



**Figura 7.** Interacción de los tratamientos con *Lactuca sativa* con respecto a la variable área foliar (cm<sup>2</sup>).

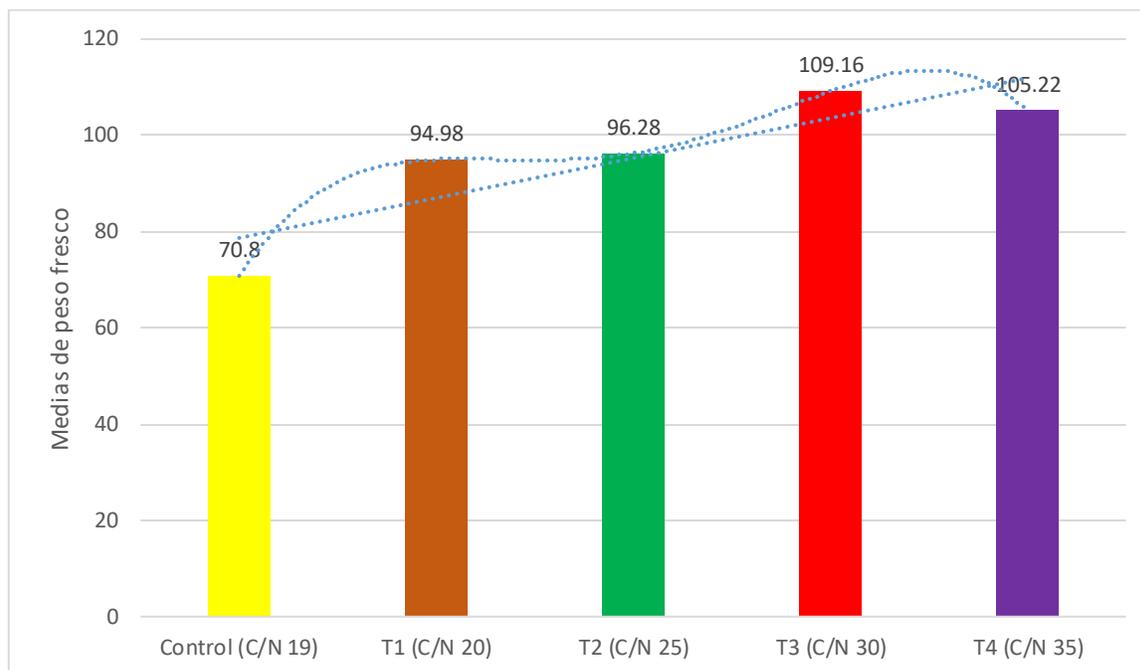
En la Figura 7 se muestran las medias obtenidas para el área foliar (cm<sup>2</sup>) (Tabla 8 anexo), el cual nos muestra la diferencia de medias entre tratamientos basados en relación C/N, teniendo como pico máximo la media área foliar (cm<sup>2</sup>) de las lechugas en T3 (C/N 30) 1037.4 cm<sup>2</sup>, y pico mínimo para el control (C/N 19) 673.56 cm<sup>2</sup>. Del mismo modo la línea de tendencia que nos indica el incremento creciente en base al aumento de relación C/N, y la línea de tendencia polinómica nos demuestra el incremento decreciente desde relaciones C/N más altas a 30.



**Figura 8.** Diagrama de caja para área foliar (cm<sup>2</sup>) respecto a los cinco tratamientos con *Lactuca sativa*.

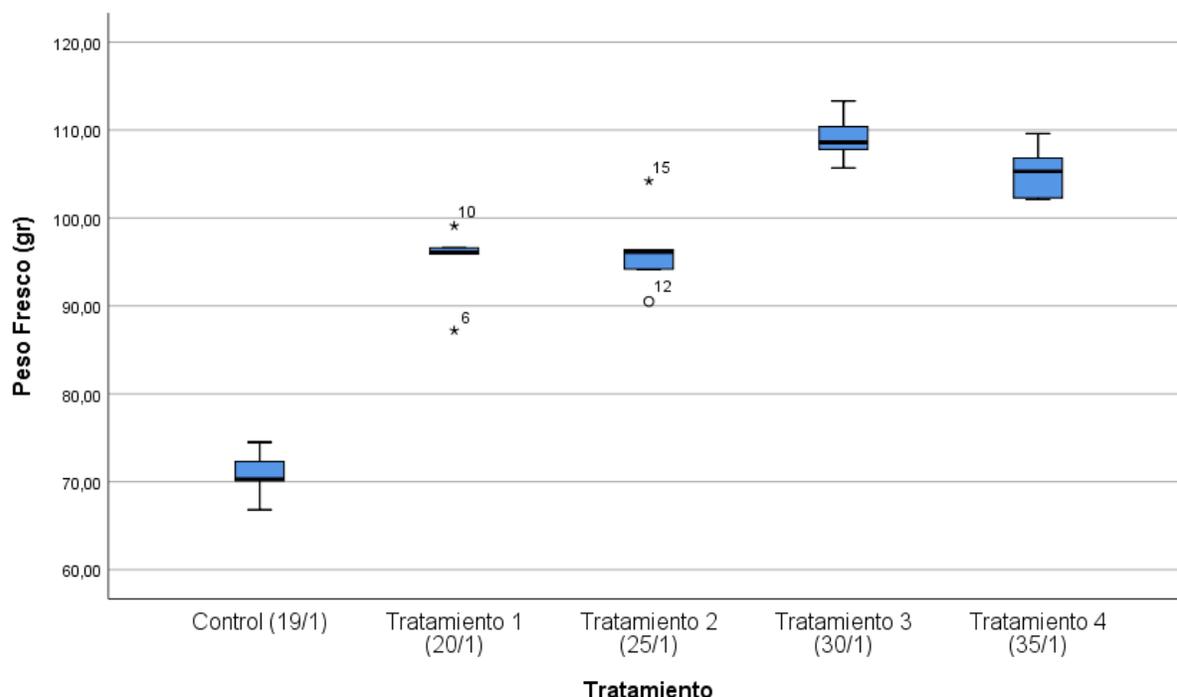
Se puede apreciar en la Figura 8 que la media del T3 (30/1) y T4 (35/1) están por encima del T1 (20/1) y T2 (25/1) y estos respectivamente del control (19/1) ( $p < 0.05$ ); sin embargo, la prueba de Tukey para medias ( $p < 0.05$ ) (Tabla 12 anexo) demuestra que no existen diferencias significativas entre T3 (30/1) y T4 (35/1), ni tampoco entre T1 (20/1) y T2 (25/1). Para la media T3 (30/1) se obtuvieron medias mayores.

**5.2.2. Interacción del peso fresco en gramos respecto a los tratamientos**



**Figura 9.** Interacción de los tratamientos con *Lactuca sativa* con respecto a la variable peso fresco en gramos.

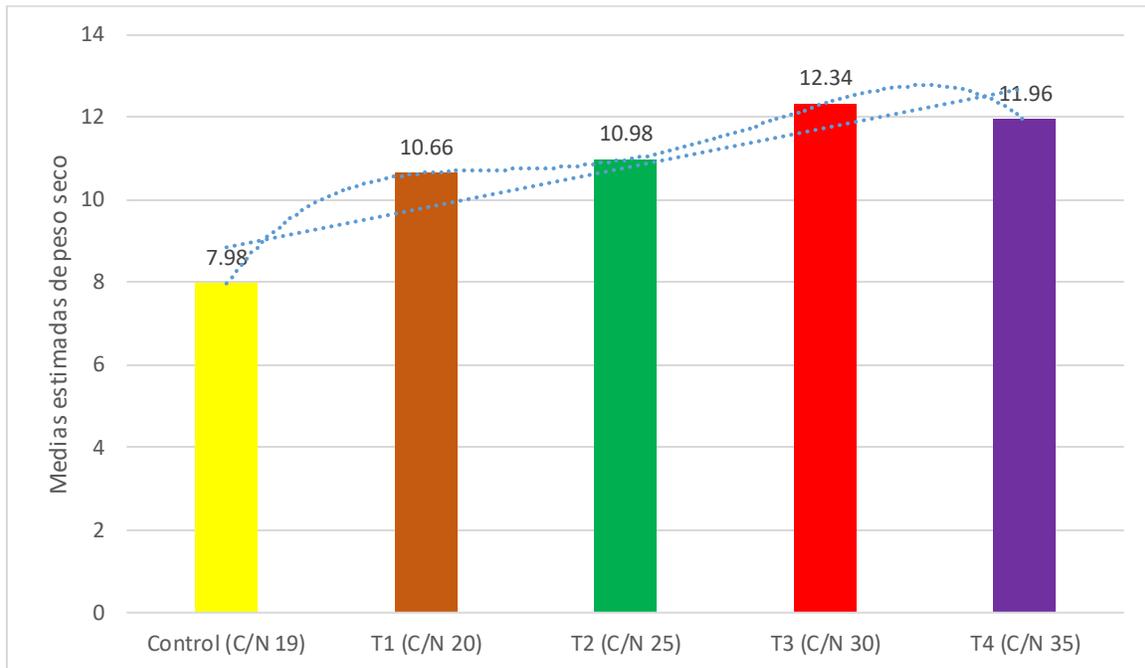
En la Figura 9 se muestran las medias obtenidas para el peso fresco (gr) (Tabla 8 anexo), el cual nos muestra la diferencia de medias entre tratamientos basados en relación C/N, teniendo como pico máximo la media peso fresco (gr) de las lechugas en T3 (C/N 30) 109.16 (gr), y pico mínimo para el control (C/N 19) 70.8 gr. Del mismo modo la línea de tendencia que nos indica el incremento creciente en base al aumento de relación C/N, y la línea de tendencia polinómica nos demuestra el incremento decreciente desde relaciones C/N más altas a 30.



**Figura 10.** Diagrama de caja para peso fresco en gramos respecto a los cinco tratamientos con *Lactuca sativa*.

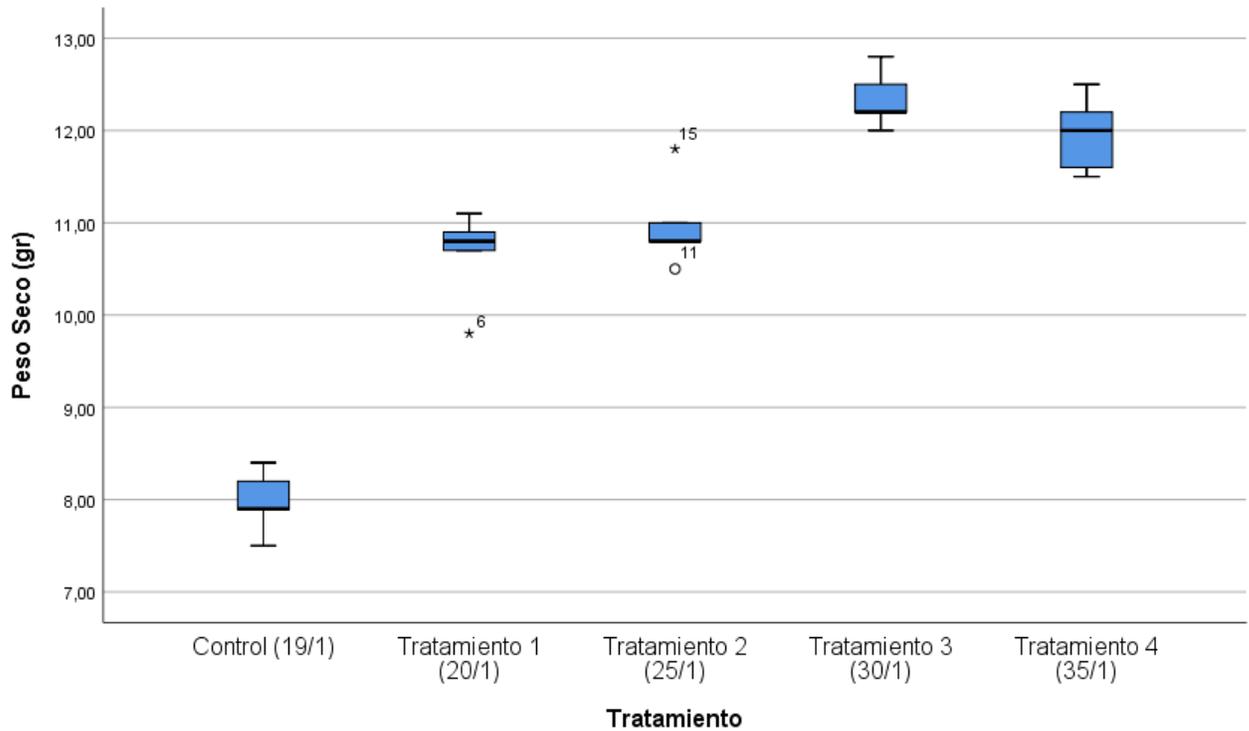
Se puede apreciar en la Figura 10 que la media del T3 (30/1) y T4 (35/1) están por encima del T1 (20/1) y T2 (25/1) y estos respectivamente del control (19/1) ( $p < 0.05$ ); sin embargo, la prueba de Tukey para medias ( $p < 0.05$ ) (Tabla 13 anexo) demuestra que no existen diferencias significativas entre T3 (30/1) y T4 (35/1), ni tampoco entre T1 (20/1) y T2 (25/1). Para la media T3 (30/1) se obtuvieron medias mayores.

**5.2.3. Interacción del peso seco en gramos respecto a los tratamientos**



**Figura 11.** Interacción de los tratamientos con *Lactuca sativa* con respecto a la variable peso seco en gramos.

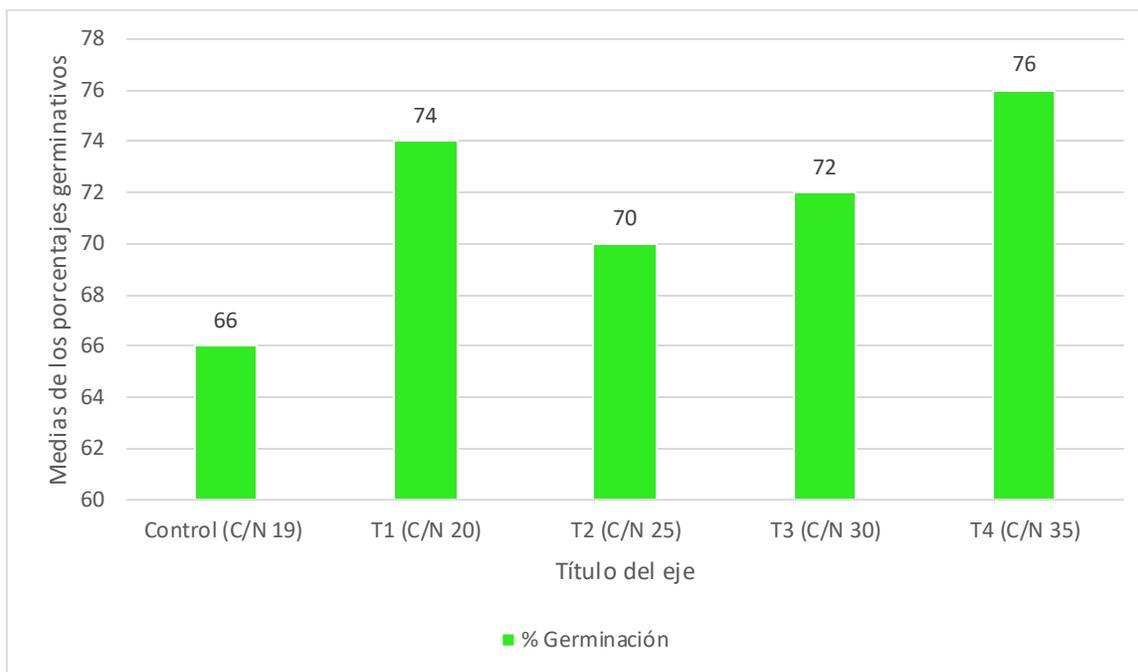
En la Figura 11 se muestran las medias obtenidas para el peso seco (gr) (Tabla 8 anexo), el cual nos muestra la diferencia de medias entre tratamientos basados en relación C/N, teniendo como pico máximo la media peso seco (gr) de las lechugas en T3 (C/N 30) 12.34 (gr), y pico mínimo para el control (C/N 19) 7.98 gr. Del mismo modo la línea de tendencia que nos indica el incremento creciente en base al aumento de relación C/N, y la línea de tendencia polinómica nos demuestra el incremento decreciente desde relaciones C/N más altas a 30.



**Figura 12.** Diagrama de caja para peso seco en gramos respecto a los cinco tratamientos con *Lactuca sativa*.

Se puede apreciar en la Figura 12 que la media del T3 (30/1) y T4 (35/1) están por encima del T1 (20/1) y T2 (25/1) y estos respectivamente del control (19/1) ( $p < 0.05$ ); sin embargo, la prueba de Tukey para medias ( $p < 0.05$ ) (Tabla 14 anexo) demuestra que no existen diferencias significativas entre T3 (30/1) y T4 (35/1), ni tampoco entre T1 (20/1) y T2 (25/1). Para la media T3 (30/1) se obtuvieron medias mayores.

**5.2.4. Interacción del porcentaje germinativo (%) en los tratamientos**



**Figura 13.** Interacción de los tratamientos con *Lactuca sativa* con respecto a la variable porcentaje germinativo (%).

No existió diferencia significativa entre los tratamientos ( $\text{sig}=0.117$ ,  $\text{sig}>0.05$ ); sin embargo, en la Figura 13 se puede observar un ligero mayor porcentaje de germinación para los T1 (C/N 20) (74%) y T4 (C/N 35) (76%), y valores menores para el control (C/N 19) (66%).

## VI. DISCUSIÓN

### 6.1. Variación de aleloquímicos presentes al inicio y final del compostaje

#### 6.1.1. Variación de taninos

Se presentaron grandes variaciones entre los aleloquímicos medidos y comparados al iniciar y terminar los tratamientos de compostajes los cuales fueron fenoles y taninos (Figura 5 y Figura 6). Los tratamientos que lograron reducir en mayor cantidad su porcentaje de taninos en el compostaje fueron el tratamiento 2 (C/N 25) y el tratamiento 3 (C/N 30) los cuales redujeron los taninos en un 97.8% y 92.7% respectivamente.

La reducción casi total de taninos se debe principalmente por la presencia de microorganismos especializados en el compostaje los cuales descomponen polímeros de difícil degradación tales como los taninos; diversas fuentes indican que los más abundantes hongos encargados de degradarlos en el proceso de compostaje son los hongos del género *Aspergillus* y *Penicillium* (Rodríguez & Torres, 2018).

De la misma forma Ganga et al. (1977) indicó que especies de estos géneros las cuales fueron *Aspergillus niger* y *Penicillium spp* fueron los responsables de la degradación de taninos transformándolos a formas más simples como fuente de carbono para el crecimiento.

#### 6.1.2. Variación de fenoles

Para fenoles los tratamientos que lograron reducir en mayor cantidad del porcentaje de fenoles en el compostaje fueron el tratamiento 3 (C/N 30) y el tratamiento 2 (C/N 25) los cuales redujeron los fenoles en un 99.27% y 99.16% respectivamente, básicamente la totalidad de los fenoles fueron degradados en los tratamientos de compostaje.

De la misma forma Hachicha et al. (2009) gracias a cromatogramas en extracto de acetato de etilo indicó que las cantidades de compuestos fenólicos en las compostas habían sido eliminados casi por completo. Además, señaló que incluso al ampliar el cromatograma, no se pudieron observar trazas de fenoles. Sobre sus resultados Hachicha et al. (2009) concluyó que el compostaje es un proceso promisorio para la eliminación de polifenoles y también para la desintoxicación de los mismos.

Estas conclusiones fueron similares con el estudio de Said-pulicino et al. (2007), el cual tuvo diversos compostajes utilizando desechos orgánicos de la municipalidad de Pietramelina (Perugia, Italia) y desechos secos de podas, demostrando el efecto progresivo de descomposición de compuestos fitotóxicos como los polifenoles en el compostaje.

## **6.2. Variables cuantitativas medidas en todo el proceso de compostaje**

Las variables que se midieron cuantitativamente a lo largo de los tratamientos de compostaje fueron el pH y la temperatura, los compostajes pasaron por cuatro fases las cuales fueron la mesófila 1, termófila, mesófila 2 y la de maduración. Los tratamientos de compostaje tuvieron valores dentro del promedio de un compostaje óptimo según FAO (2013), los valores más altos los tuvo el tratamiento 3 (C/N 30) llegando a un pico de 7.3 de pH y temperatura de 52°C de en la fase termófila y finalizando la fase de maduración con un pH de 7.1 y temperatura ambiente de 20°C. Según FAO (2013) los picos altos de temperatura son básicos para la degradación de polímeros difíciles de transformar por los microorganismos y el pH alcalino en la fase termófila justifica de la misma forma la alta presencia de microorganismos transformando el amonio a amoniaco.

Durante la fase mesófila 1, el pH disminuye rápidamente debido a la formación de ácidos orgánicos. En la fase termófila, por otro lado, el pH aumenta y alcaliniza el medio debido a la conversión del amonio en amoníaco, en las siguientes fases el amoníaco neutraliza los ácidos, y finalmente el compost se estabiliza y llega a valores cercanos al neutro (Jaramillo & Zapata, 2008). El nivel óptimo de pH varía entre 5.5 y 8.5, siendo este rango el óptimo para los microorganismos del compost Robles-Mitma (2015), los tratamientos se mantuvieron en los rangos normales óptimos en las cuatro fases.

Cabe resaltar que el control (C/N 19) presentó el pH más bajo (pH 6.6), esto debido a que en el control no se aplicó hojarasca de *E. globulus* por lo que no hubo una fuente de carbono para el metabolismo microbiano, por ello también la temperatura subió poco en la fase termófila (28°C).

### **6.3. Interacción de los tratamientos con *Lactuca sativa* con respecto a las cuatro variables vegetales.**

Al momento de efectuar las mediciones en los tratamientos con *Lactuca sativa*, se evidenció que el tratamiento con la mayor media de área foliar (cm<sup>2</sup>) fue el tratamiento 3 (C/N 30) el cual tuvo 1037.4 cm<sup>2</sup>. El tratamiento con la mayor media de peso fresco (gr) y peso seco (gr) fue una vez más el tratamiento 3 (C/N 30), el cual tuvo 109.16 (gr) y 12.34 (gr) respectivamente.

Sin embargo, en las cuatro variables vegetales no se encontraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre el tratamiento 3 (C/N 30) y el tratamiento 4 (C/N 35), a pesar de que si hubieron ligeras diferencias donde se presentaron mayores valores para todas las variables vegetales en el tratamiento 3 (C/N 30), esto se debe principalmente al mayor porcentaje de reducción de taninos y fenoles en el tratamiento de compostaje 3 (C/N 30) los cuales fueron

92.7% y 99.27% respectivamente, y también debido a que las variables de compostaje en el tratamiento 3 (C/N 30) fueron las más óptimas (como ya se mencionó previamente), lo que ocasionó que haya un mejor desarrollo vegetal por el desarrollo óptimo del compostaje y la casi nula presencia de aleloquímicos una vez finalizado el tratamiento de compostaje.

#### **6.4. Porcentaje de germinación**

No existieron diferencias significativa entre los tratamientos ( $\text{sig}=0.117$ ,  $\text{sig}>0.05$ ), en el tratamiento 1 (C/N 20), T2 (C/N 25), T3 (C/N 30) y T4 (C/N 35) los porcentajes de germinación variaron entre 70% y 76%, siendo el control el tratamiento más bajo (60%) esto debido al pH ácido (como se mencionó anteriormente), La falta de diferencia significativa entre los otros tratamientos se debe a que la germinación está más influenciada por las condiciones ambientales que por el sustrato utilizado (Said-pullicino et al., 2007), además que un índice de germinación superior al 60% indica la desaparición de polifenoles del compost (Said-pullicino et al., 2007), lo cual fue lo ocurrido en los tratamientos.

De la misma forma Brewer & Sullivan (2020) aseguran que la aplicación de compostaje inmaduro e inestable reduce el porcentaje germinativo, crecimiento vegetal y daña los cultivos, muchas veces causado por competencia de oxígeno causado por la fitotoxicidad debido a la insuficiente biodegradación del material orgánico.

## VII. CONCLUSIONES

Se concluye que el compost tiene la capacidad de reducir los aleloquímicos de la hojarasca de *E. globulus* var. compacta, a porcentajes mínimos, permitiendo el desarrollo normal de plantas sensibles como la lechuga. El mayor éxito de reducción (%) de aleloquímicos en los tratamientos de compostaje de hojarasca alelopática de *Eucalyptus globulus* var. compacta junto con estiércol bovino seco a la par con las variables vegetales medidas en los tratamientos con *Lactuca sativa*, lo tiene el tratamiento 3 (C/N 30) con 92.7% de reducción de taninos, 99.27% de reducción de fenoles, demostrando que efectivamente la alelopatía si puede ser reducida en gran medida por medio compostaje; de la misma manera el tratamiento 3 (C/N 30) tuvo la temperatura más alta en la fase termófila la cual llegó a 52°C de en la fase termófila, así como también en todas las variables vegetativas. El tratamiento con la mayor media de área foliar (1037.40 cm<sup>2</sup>), peso fresco (109.16 gr) y peso seco (12.34 gr), fue el tratamiento 3 (C/N 30).

Esta investigación presenta información valiosa para los productores de *Eucalyptus globulus* var. compacta. Como se mencionó previamente, esta especie es ampliamente utilizada para la producción de madera tanto a gran escala como en pequeña en gran parte del Perú y en todo el mundo. El estudio demuestra que es posible compostar la hojarasca alelopática de *Eucalyptus globulus* var. compacta y reducir casi por completo los aleloquímicos presentes en ella. Esto resulta beneficioso para los productores, ya que pueden utilizar esta fórmula para guiar la relación de cantidades de los materiales a compostar y lograr un compost maduro y exitoso.

## VIII. RECOMENDACIONES

- Se propone realizar un monitoreo constante de las variables de compostaje, en particular durante la fase termófila. Será importante medir la humedad, la temperatura y el pH con el fin de obtener información valiosa sobre el proceso de compostaje y poder realizar ajustes necesarios.
- Se sugiere continuar el trabajo de tesis explorando diferentes relaciones C/N, ya que se ha identificado un declive evidente a partir del tratamiento 4 (C/N 35). Esto permitirá obtener más información sobre el efecto de estas relaciones en el compostaje y podrá generar nuevos conocimientos para mejorar este proceso.
- Guiándose de este trabajo de investigación utilizar hongos del género *Aspergillus* y *Penicillium* y cultivarlos en el compostaje para corroborar su capacidad de degradación de aleloquímicos.
- Guiándose de este trabajo de investigación utilizar la hojarasca de otra especie que presente propiedades alelopáticas en sus hojas para reducir sus aleloquímicos por medio de compostaje.
- A la hora de hacer la recolección de las muestras para enviarlas al laboratorio deberá mandarse las mismas lo antes posible porque conforme pasa el tiempo en las bolsas las condiciones físico-químicas van cambiando.
- Utilizar esta investigación cambiando a la *Lactuca sativa* por otra especie más sensible a la alelopatía para comprobar la eficacia de los tratamientos de compostaje.

## IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anaya, A. L. (1999). *Critical Reviews in Plant Sciences Allelopathy as a Tool in the Management of Biotic Resources in Agroecosystems Allelopathy as a Tool in the Management of Biotic Resources in Agroecosystems* (Issue July 2013).  
<https://doi.org/10.1080/07352689991309450>
- Apumayta, E. (2019). Actividad antioxidante y determinación del contenido de fucoidano, compuestos fenólicos y flavonoides en extractos de macroalga parda *Lessonia trabeculata*. *UNALM*, 68.  
<http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/3906/apumayta-suarez-eder-valdir.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- Arif, M., Sahrir, S., Yusoff, N., & Azizan, K. A. (2022). *Allelopathy activity under laboratory, greenhouse and field conditions: A review*. 8(December), 78–104.  
<https://doi.org/10.3934/agrfood.2023004>
- Azim, K., Soudi, B., Boukhari, S., Perissol, C., Roussos, S., & Thami Alami, I. (2018). Composting parameters and compost quality: a literature review. *Organic Agriculture*, 8(2), 141–158. <https://doi.org/10.1007/s13165-017-0180-z>
- Bari, Q. H., & Atauzzaman, M. (2020). *Effect of passive and forced aeration on composting of market solid waste*. February. <https://doi.org/10.14419/ijet.v9i1.30301>
- Blanco, Y. (2006). La utilización de la aleopatía y sus efectos en diferentes cultivos agrícolas. *Cultivos Nacionales, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas*, 27, 15–16.
- Brewer, L. J., & Sullivan, D. M. (2020). *Maturity and stability evaluation of composted yard trimmings Maturity and Stability Evaluation of Composted Yard Trimmings*. March 2003.
- Capel Molina, J. J. (1999). Lima, un clima de desierto litoral. *Anales de Geografía de La Universidad Complutense*, 19, 25–45.
- Cárdenas, C. (2014). Las plantas alelopáticas. *Universidad de Las Fuerzas Armadas, Innovación Para La Experiencia*, 204.

- Castro González, P. (2015). *Análisis de crecimiento y acumulación de biomasa en tomillo (Thymus vulgaris L.)*. 58.
- Cegarra, J. (1994). *Compostaje de desechos orgánicos y criterios de calidad del compost. En: Memorias VII congreso Colombiano de la ciencia del suelo, Bucaramanga*. 21–31.
- Celestino, J. (1953). Escritos científicos de Don José Celestino Mutis. *Editorial Kelly, 1*, 293.
- Chase, M. W., Christenhusz, M. J. M., Fay, M. F., Byng, J. W., Judd, W. S., Soltis, D. E., Mabberley, D. J., Sennikov, A. N., Soltis, P. S., Stevens, P. F., Briggs, B., Brockington, S., Chautems, A., Clark, J. C., Conran, J., Haston, E., Möller, M., Moore, M., Olmstead, R., ... Weber, A. (2016). An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. *Botanical Journal of the Linnean Society, 181*(1), 1–20.  
<https://doi.org/10.1111/boj.12385>
- Cheng, Z. (2015). *Research Progress on the use of Plant Allelopathy in Agriculture and the Physiological and Ecological Mechanisms of Allelopathy*. 6(November), 1–16.  
<https://doi.org/10.3389/fpls.2015.01020>
- Chou, C. H., & Leu, L. L. (1992). Allelopathic substances and interactions of *Delonix regia* (Boj) Raf. *Journal of Chemical Ecology, 18*(12), 2285–2303.  
<https://doi.org/10.1007/BF00984951>
- Craig, H., Sisk, W., Nelson, M., & Dana, W. (1995). Bioremediation of explosives-contaminated soils: a status review. *US EPA*.
- Dan-ju, Z., Jian, Z., Wan-qin, Y., & Fu-zhong, W. (2010). Potential allelopathic effect of *Eucalyptus grandis* across a range of plantation ages. *The Ecological Society of Japan, 25*, 13–23. <https://doi.org/10.1007/s11284-009-0627-0>
- Del Moral, R., & Muller, C. (1969). Fog Drip: A Mechanism of Toxin Transport from *Eucalyptus globulus*. *Torrey Botanical Society, Vol. 96*(No. 4), 475.
- Del Pino, A., Repetto, C., Mori, C., & Perdomo, C. (2007). Decomposition Patterns of

- Manures in Soil. *Terra Latinoamericana*, 26, 43–52.
- Einhellig, F. A. (1995). *Allelopathy: Current Status and Future Goals*.
- Estévez, R. (2018). *El eucalipto, aliado del medio ambiente y su biodiversidad*. ECO Inteligencia. <https://www.ecointeligencia.com/2018/09/eucalipto-medioambiente/>
- FAO. (2013). Manual de compostaje del agricultor. In *Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe*. <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>
- Folin, O., & Ciocalteu, V. (1927). on Tyrosine and Tryptophane Determinations in Proteins. *Journal of Biological Chemistry*, 73(2), 627–650. [https://doi.org/10.1016/s0021-9258\(18\)84277-6](https://doi.org/10.1016/s0021-9258(18)84277-6)
- Gamarra, C., Díaz Lezcano, M. I., Vera de Ortíz, M., Galeano, M. D. P., & Cabrera Cardús, A. J. N. (2018). Relación carbono-nitrógeno en suelos de sistemas silvopastoriles del Chaco paraguayo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(46), 4–26. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i46.134>
- Ganga, P., Nandy, S., & Santappa, M. (1977). *Effect of environmental factors of the production of fungal, Tannase*.
- Granados-Sánchez, D., & López-Ríos, G. F. (2007). Fitogeografía y ecología del género *Eucalyptus*. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 13(2), 143–156. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62913208>
- Granval de Millán, N., & Gaviola, J. C. (1991). Origen e historia-Botánica. In *Lechuga-Manual de Producción de Semillas Hortícolas* (pp. 7–23).
- Hachicha, S., Cegarra, J., Sellami, F., Hachicha, R., Drira, N., Medhioub, K., & Ammar, E. (2009). *Elimination of polyphenols toxicity from olive mill wastewater sludge by its co-composting with sesame bark*. 161, 1131–1139. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.04.066>
- Hunt, R. (1978). Plant Growth analysis. *Studies in biology*. *Edward Arnold*, 96, 67.
- Islam, M. K., Yaseen, T., Traversa, A., Ben Kheder, M., Brunetti, G., & Coccozza, C. (2016). Effects of the main extraction parameters on chemical and microbial

- characteristics of compost tea. *Waste Management*, 52, 62–68.  
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.03.042>
- Iufro, M. (2018). Eucalyptus 2018: Managing Eucalyptus plantations under global changes. In *Managing Eucalyptus plantations under global changes* (Issue September).  
<https://agritrop.cirad.fr/589039/1/ID589039.pdf>
- Jaramillo, G., & Zapata, L. (2008). Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos de Colombia. *Universidad de Antioquía*, 116.
- Jenkins, J. (2008). *The humanure handbook* (3rd ed.). Joseph Jenkins, Inc.
- Khamare, Y., Chen, J., & Marble, S. C. (2022). *Allelopathy and its application as a weed management tool : A review*. November, 1–17.  
<https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1034649>
- Křístková, E., Doležalová, I., Lebeda, A., Vinter, V., & Novotná, A. (2008). Description of morphological characters of lettuce (*Lactuca sativa* L.) genetic resources. *Horticultural Science*, 35(3), 113–129. <https://doi.org/10.17221/4/2008-hortsci>
- Lamp'L, J. (2017). *The Complete Guide to Home Composting*. <https://joegardener.com/wp-content/uploads/2017/02/JG-Complete-Guide-to-Home-Composting.pdf>
- Layne Garsaball, J. A., & Méndez Natera, J. R. (2013). Efectos alelopáticos de extractos acuosos de hojas de botón de oro [*Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray.] sobre la germinación de semillas y crecimiento de plántulas de lechuga (*Lactuca sativa* L.). *Scientia Agropecuaria*, 4, 229–241.
- Liao, K., Gao, H., Yang, M., & Liao, C. (2019). Species mixture changes the content of phenolic acids in the soil of Eucalyptus plantations. *Austrian Journal of Forest Science*, 136(4), 331–349.
- Lombardero, X. (2010). *La hojarasca de los eucaliptos afecta negativamente a la vida fluvial*. La Voz de Galicia.  
[https://www.lavozdegalicia.es/noticia/sociedad/2010/01/31/hojarasca-eucaliptos-afecta-negativamente-vida-fluvial/0003\\_8264121.htm](https://www.lavozdegalicia.es/noticia/sociedad/2010/01/31/hojarasca-eucaliptos-afecta-negativamente-vida-fluvial/0003_8264121.htm)

- Martins, C., Natal-da-Luz, T., Sousa, J. P., Gonçalves, M. J., Salgueiro, L., & Canhoto, C. (2013). Effects of Essential Oils from *Eucalyptus globulus* Leaves on Soil Organisms Involved in Leaf Degradation. *PLOS One*, 7. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0061233>
- Mishra, S. (2015). *Effect of particle size on rotary drum composting of garden waste and their ranking using analytical hierarchy process*. 1–21.
- Mourad, H., Garrett, B., & Lee, S. (2018). Allelopathic Influence of *Eucalyptus* on Common Kenyan Agricultural Crops. *HSOA Journal of Agronomy and Agricultural Science*, 1(1: 002), 5.
- Narwal, S., & Jain, S. (1994). Hans Molisch ( 1856-1937 ): The father of allelopathy. *International Allelopathy Foundation (IAF)*, 1–6.
- Oliveira, M. N. S., Mercadante-Simões, M. O., Ribeiro, L. M., Lopes, P. S. N., Gusmão, E., & Dias, B. A. S. (2005). Efeitos alelopáticos de seis espécies arbóreas da família Fabaceae Allelopathics effects of six trees from the Fabaceae family. *Unimontes Científica*, 7(2), 121–128.
- Orwa, C., Mutua, A., Kindt, R., Jamnadass, R., & Anthony, S. (2009). *Eucalyptus globulus* ssp . *globulus* Labill . *World Agroforestry Centre*, 0, 1–5.
- Paul, N., Giri, U., & Roy, G. (1940). *Composting*. 1–19.
- Perthuisot, N., & Fare, Y. (2018). Feasibility study for cacao agroforestry projects under the shading of timber tree species. *FFEM*, 56. <https://www.atibt.org/wp-content/uploads/2020/04/ATIBT-RAPPORT-ETUDE-CACAO-AN-BD.pdf>
- Price, M. L., & Butler, L. G. (1977). Rapid Visual Estimation and Spectrophotometric Determination of Tannin Content of Sorghum Grain. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 25(6), 1268–1273. <https://doi.org/10.1021/jf60214a034>
- Richard, T. (1996). *Turning Windrows*. <http://compost.css.cornell.edu/Factsheets/FS7.html>
- Rizvi, S. J. H., Tahir, M., Rizvi, V., Kohli, R. K., & Ansari, A. (1999). Allelopathic Interactions in Agroforestry Systems. *Plant Science*, 18(6), 773–796.

<https://doi.org/10.1080/07352689991309487>

- Robles-Mítma, M. B. (2015). *Evaluación de parámetros de temperatura, pH y humedad para el proceso de compostaje en la Planta de Tratamiento de Residuos Sólidos Orgánicos de la Municipalidad Provincial de Leoncio Prado*. 59.  
[https://www.unas.edu.pe/web/sites/default/files/web/archivos/actividades\\_academicas/EVALUACIÓN DE PARÁMETROS DE TEMPERATURA%2C PH Y HUMEDAD PARA EL PROCESO DE COMPOSTAJE EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE RESIDU](https://www.unas.edu.pe/web/sites/default/files/web/archivos/actividades_academicas/EVALUACIÓN DE PARÁMETROS DE TEMPERATURA%2C PH Y HUMEDAD PARA EL PROCESO DE COMPOSTAJE EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE RESIDU)
- Rodriguez, B., & Torres, F. (2018). *Evaluación de Penicillium sp como degradador de celulosa en el proceso de compostaje de residuos orgánicos de origen vegetal en la localidad 20 de Bogotá*. June, 0–11.
- Rogers, T. (2015). *Everything You Need To Know About Polystyrene (PS)*. Creative Mechanisms. <https://www.creativemechanisms.com/blog/polystyrene-ps-plastic>
- Rondina, R.; Coussio, J. (1989). Estudio fitoquímico de plantas medicinales Argentinas. *Revista de Investigaciones Agropecuarias, INTA*, 6, 22.
- Said-pullicino, D., Erriquens, F. G., & Gigliotti, G. (2007). *Changes in the chemical characteristics of water-extractable organic matter during composting and their influence on compost stability and maturity*. 98, 1822–1831.  
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.06.018>
- Sampietro, D. (2003). Aleopatía: concepto, características, metodología de estudio e importancia. *Facultad de Bioquímica, Química y Farmacia. Universidad Nacional de Tucumán*, 14.
- Santos C, M., Segura A, M., & Ñustez L, C. (2010). Análisis de Crecimiento y Relación Fuente-Demanda de Cuatro Variedades de Papa. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 63(1), 5253–5266.
- Schoch, C. L., Ciufó, S., Domrachev, M., Hotton, C. L., Kannan, S., Khovanskaya, R., Leipe, D., McVeigh, R., O’Neill, K., Robbertse, B., Sharma, S., Soussov, V., Sullivan, J. P., Sun, L., Turner, S., & Karsch-Mizrachi, I. (2020). NCBI Taxonomy: A

- comprehensive update on curation, resources and tools. *Database*, 2020(2), 1–21.  
<https://doi.org/10.1093/database/baaa062>
- SENAMHI. (2021). *Análisis climático mensual: julio 2021*. 8.  
<https://www.senamhi.gob.pe/documents/10157/7323/Julio2021.pdf>
- SERFOR. (2018). *Perú: Superficie de plantaciones forestales comerciales aumentó 20.6% entre 2014 y 2017*. <https://www.gob.pe/institucion/servicio-nacional-forestal-y-de-fauna-silvestre/noticias/18951-peru-superficie-de-plantaciones-forestales-comerciales-aumento-20-6-entre-2014-y-2017>
- Silva, M. F. da, Fortes, M. M., & Sette Junior, C. R. (2018). Characteristics of Wood and Charcoal from Eucalyptus clones. *Floresta e Ambiente*, 25(3).  
<https://doi.org/10.1590/2179-8087.035016>
- Souza, IF; Furtados, D. (2002). Caracterização de aleloquímicos do centeio (Secale cereale) and seu potencial alelopático sobre plantas de alface (Lactuca sativa). *Ciência e Agrotecnologia*.
- Study, C., Aerated, F. C., & Pile, S. (2014). *An Enhanced Direct Process Temperature Validation Framework in Composting: An Enhanced Direct Process Temperature Validation Framework in Composting: Case Study of a Full-Scale Covered Aerated Static Pile*. July. <https://doi.org/10.1080/1065657X.2014.918865>
- Swain, T., & Hillis, W. E. (1959). The phenolic constituents of *Prunus domestica*. I.—The quantitative analysis of phenolic constituents. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 10(1), 63–68. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740100110>
- Swank, W. T., Yost, S. E., & Vose, J. M. (2021). Ecology and Silviculture of Eucalypt Forests. *CRC Press*, 344.
- T Luangwilai, H S. Sidhu, M I. Nelson, X. D. C. (2012). “Modelling the effects of moisture content in compost piles” by T Luangwilai, H S. *Australian Chemical Engineering Conference Australia: Engineers Australia, December 2014*.
- Torres, N., Utani, J., & Zaga, N. (2012). Instalación de una planta procesadora para la producción y comercialización de papel a partir de eucalipto en Apurímac. *UNAMBA*.

- Tortosa, G. (2019). *Materiales para compostar: estiércol de vaca*. Compostando Ciencia.  
<http://www.compostandociencia.com/2019/08/materiales-para-compostar-estiercol-de-vaca/>
- Tyler, J. (2015). *Is Eucalyptus Mulch Toxic to Plants?* SFGATE.  
<https://homeguides.sfgate.com/eucalyptus-mulch-toxic-plants-57519.html>
- Vallini, G. (2018). *The biology of composting : A review*. March.  
[https://doi.org/10.1016/0734-242X\(83\)90055-1](https://doi.org/10.1016/0734-242X(83)90055-1)
- Vecchio, M., Loganes, C., & Minto, C. (2016). Beneficial and Healthy Properties of Eucalyptus Plants: A Great Potential Use. *Bentham Science*, 52–57.
- Xiang, W., & Bauhus, J. (2007). Does the addition of litter from N-fixing Acacia mearnsii accelerate leaf decomposition of Eucalyptus globulus? *Australian Journal of Botany*, 55(5), 576–583. <https://doi.org/10.1071/BT06083>
- Yost, J. M., Wise, S. L., Love, N. L. R., Steane, D. A., Jones, R. C., Ritter, M. K., & Potts, B. M. (2021). Origins, diversity and naturalization of eucalyptus globulus (Myrtaceae) in California. *Forests*, 12(8). <https://doi.org/10.3390/f12081129>

## **X. ABREVIATURAS**

*E. globulus*: *Eucalyptus globulus*

*L. sativa*: *Lactuca sativa*

MO: Materia orgánica

T1 (C/N 20): Tratamiento 1 (relación carbón/nitrógeno 20)

T2 (C/N 25): Tratamiento 2 (relación carbón/nitrógeno 25)

T3 (C/N 30): Tratamiento 3 (relación carbón/nitrógeno 30)

T4 (C/N 35): Tratamiento 4 (relación carbón/nitrógeno 35)

T0 (C/N 19): Control (relación carbón/nitrógeno 19)

MRC: Material rico en carbono

MRN: Material rico en nitrógeno

%G: Porcentaje de germinación

%GT: Porcentaje de germinación total

AF: Área foliar

AFT: Área foliar total

PFv: Peso fresco del vástago

PFr: Peso fresco de la raíz

PFT: Peso fresco total

PSv: Peso seco del vástago

PSr: Peso seco de la raíz

PST: Peso seco total

a.C.: Antes de Cristo

d.C.: Después de Cristo

UV: ultravioleta

## XI. ANEXOS

### 11.1. Anexos de resultados y tablas estadísticas

**Tabla 3.** Resultados finales de las variables de los 5 tratamientos vegetales a en la semana 1 y 5

Tratamientos		Resultados en <i>Lactuca sativa</i>												
	Repetic.	%G	%GT	AF (cm <sup>2</sup> )	AFT (cm <sup>2</sup> )	As (cm <sup>2</sup> )	PFv (gr)	PFr (gr)	PF (gr)	PFT (gr)	PSv (gr)	PSr (gr)	PS (gr)	PST (gr)
T0 C/N: 19/1	Lechu. 1	70%	66%	690.6	3367.8	200.9	44.4	30.1	74.5	354.0	4.9	3.5	8.4	39.9
	Lechu. 2	60%		670.7		191.8	43.9	22.9	66.8		4.8	2.7	7.5	
	Lechu. 3	70%		673.1		170.5	44.0	26.1	70.1		4.8	3.1	7.9	
	Lechu. 4	60%		650.4		195.3	42.3	28.0	70.3		4.6	3.3	7.9	
	Lechu. 5	70%		683.0		183.2	45.0	27.3	72.3		5.0	3.2	8.2	
T1 C/N: 20/1	Lechu. 1	70%	74%	870.1	4573.1	250.9	56.0	31.2	87.2	474.9	6.2	3.6	9.8	53.3
	Lechu. 2	70%		912.4		290.1	59.7	36.4	96.1		6.6	4.2	10.8	
	Lechu. 3	80%		930.0		300.6	60.9	35.0	95.9		6.7	4.0	10.7	
	Lechu. 4	70%		915.5		294.0	59.1	37.5	96.6		6.5	4.4	10.9	
	Lechu. 5	80%		945.1		292.7	62.0	37.1	99.1		6.8	4.3	11.1	
T2 C/N: 25/1	Lechu. 1	70%	70%	909.9	4633.0	289.0	59.4	34.8	94.2	481.4	6.5	4.0	10.5	54.9
	Lechu. 2	70%		918.1		285.1	58.5	32.0	90.5		6.3	3.7	11.0	
	Lechu. 3	60%		925.5		290.9	60.8	35.6	96.4		6.7	4.1	10.8	
	Lechu. 4	70%		926.8		292.0	61.1	35.0	96.1		6.8	4.0	10.8	
	Lechu. 5	80%		952.7		310.2	62.5	41.7	104.2		7.0	4.8	11.8	
T3 C/N: 30/1	Lechu. 1	70%	72%	1020.5	5187.0	337.4	65.6	42.2	107.8	545.8	7.2	4.8	12.0	61.7
	Lechu. 2	70%		1021.1		320.1	66.9	43.5	110.4		7.4	5.1	12.5	
	Lechu. 3	70%		1041.6		320.1	65.0	40.7	105.7		7.6	4.6	12.2	
	Lechu. 4	80%		1039.3		343.0	68.3	45.0	113.3		7.5	5.3	12.8	
	Lechu. 5	70%		1064.5		335.8	69.4	39.2	108.6		7.6	4.6	12.2	
T4 C/N: 35/1	Lechu. 1	70%	76%	980.4	4981.1	315.0	63.1	39.2	102.3	526.1	7.0	4.6	11.6	59.8
	Lechu. 2	70%		978.1		319.3	62.0	40.1	102.1		6.9	4.6	11.5	
	Lechu. 3	80%		1001.2		317.1	63.2	42.1	105.3		7.1	4.9	12.0	
	Lechu. 4	80%		1004.0		318.9	64.0	42.8	106.8		7.2	5.0	12.2	
	Lechu. 5	80%		1017.4		320.1	66.1	43.5	109.6		7.4	5.1	12.5	

Fuente: propia

Donde:

%G = Porcentaje germinativo

%GT = Porcentaje germinativo total

AF = Área foliar

*AFT = Área foliar total*  
*As = Área del suelo*  
*PFv = Peso fresco del vástago*  
*PFr = Peso fresco de la raíz*  
*PF = Peso fresco de la planta*  
*PFT = Peso fresco total*  
*PSv = Peso seco vástago*  
*PSr = Peso seco raíz*  
*PS = Peso seco de la planta*  
*PST = Peso seco total*

**Tabla 4.** Análisis de laboratorio iniciales de aleloquímicos en hojarasca de *E. globulus* y estiércol bovino seco, como también relación C/N

Parámetro	Unidad	Resultado	
		Hojarasca	Estiércol
Determinación de fenoles	%	27.55	1.07
Determinación de taninos	%	27.06	0.88
Determinación de flavonoides	%	0.27	0.13
Relación carbono/nitrógeno	C:N	45	19

Fuente: análisis elaborado por el laboratorio de servicios y análisis químicos S.A.C. Slab, calle 22 urb. vïpol naranjal mz e lt 07, san martín de porres.

**Tabla 5.** Formulaciones del % total de taninos y fenoles por cada tratamiento de compostaje

Tratamientos	T1 (C/N 20)	T2 (C/N 25)	T3 (C/N 30)	T4 (C/N 35)	Control (C/N 19)
Dosis de hojarasca de <i>E. globulus</i>	1.3 kg	7 kg	11.8 kg	15.1 kg	
Taninos 27.06%	0.35kg	1.89kg	3.19kg	4.09kg	
Fenoles 27.55%	0.36kg	1.93kg	3.25kg	4.16kg	
Dosis de estiércol bovino seco	24 kg	18 kg	14 kg	10 kg	25 kg
Taninos 0.88%	0.21kg	0.16kg	0.12kg	0.09kg	0.22kg
Fenoles 1.07%	0.26kg	0.19kg	0.15kg	0.11kg	0.27kg
Peso total de los tratamientos	25.3kg	25kg	25.8kg	25.1kg	25kg
Kg total de taninos por tratamiento	0.35 + 0.21 = 0.56kg	1.89 + 0.16 = 2.05kg	3.19 + 0.12 = 3.31kg	4.09 + 0.09 = 4.18kg	0.22kg
Kg total de fenoles por tratamiento	0.36 + 0.26 = 0.62kg	1.93 + 0.19 = 2.12kg	3.25 + 0.15 = 3.40kg	4.16 + 0.11 = 4.27kg	0.27kg
% total de taninos por tratamiento	2.21%	8.20%	12.83%	16.65%	0.88%
% total de fenoles por tratamiento	2.45%	8.48%	13.18%	17.01%	1.08%

Fuente: propia

**Tabla 6.** Mediciones por tratamiento de las variables pH y temperatura, a lo largo del proceso de compostaje

Tratamientos		Día 5	Día 6	Día 7	Semana 3	Semana 5	Semana 7	Semana 9	Semana 12	Semana 16
pH	T0 (19/1)	6.0	6.2	6.4	6.5	6.5	6.4	6.5	6.5	6.5
	T1 (20/1)	6.1	6.5	6.7	6.6	6.6	6.7	6.8	6.8	6.8
	T2 (25/1)	6.0	6.4	6.8	6.8	6.7	6.8	6.8	6.8	6.8
	T3 (30/1)	6.1	6.5	7.3	6.8	6.9	7	7	7.1	7.1
	T4 (35/1)	6.0	6.4	7.1	6.7	6.7	6.8	6.9	6.9	6.9
T °C	T0 (19/1)	21	24	28	20	20	19	19	20	20
	T1 (20/1)	26	33	43	22	21	21	20	20	20
	T2 (25/1)	25	36	46	22	20	21	20	20	20
	T3 (30/1)	29	41	52	23	21	21	21	20	20
	T4 (35/1)	26	37	48	23	21	21	20	20	20

Fuente: propia

**Tabla 7.** Análisis de laboratorio finales de aleloquímicos en hojarasca de *E. globulus* (fenoles y taninos)

Parámetro	Unidad	T0 (C/N 19)	T1 (C/N 20)	T2 (C/N 25)	T3 (C/N 30)	T4 (C/N 35)
Determinación de fenoles	%	0.0357	0.0455	0.0712	0.0958	0.1592
Determinación de taninos	%	0.3508	0.4290	0.1769	0.9384	1.5704

Fuente: Análisis elaborado por el laboratorio de servicios y análisis químicos S.A.C. Slab, Calle 22 Urb. Vipol naranjal Mz E Lt 07, San Martín de Porres.

**Tabla 8.** Resultados estadísticos descriptivos de las variables vegetales

	Tratamientos	Media	Desv. Est	Li	Ls	Varianza
Porcentaje de germinación (%)	T0	66.00	2.44949	59.1991	72.8009	30.000
	T1	74.00	2.44949	67.1991	80.8009	30.000
	T2	70.00	3.16228	61.2201	78.7799	50.000
	T3	72.00	2.00000	66.4471	77.5529	20.000
	T4	76.00	2.44949	69.1991	82.8009	30.000
Área foliar (cm <sup>2</sup> )	T0	673.56	6.79798	654.6858	692.4342	231.063
	T1	914.62	12.55649	879.7576	949.4824	788.327
	T2	926.60	7.18888	906.6405	946.5595	258.400
	T3	1037.40	8.08381	1014.9557	1059.8443	326.740
	T4	996.22	7.45831	975.5124	1016.9276	278.132
Peso fresco (gr)	T0	70.80	1.27828	67.2509	74.3491	8.170
	T1	94.98	2.02766	89.3503	100.6097	20.557
	T2	96.28	2.24174	90.0559	102.5041	25.127
	T3	109.16	1.28086	105.6038	112.7162	8.203
	T4	105.22	1.41329	101.2961	109.1439	9.987
Peso seco (gr)	T0	7.98	0.15297	7.5553	8.4047	0.117
	T1	10.66	0.22494	10.0355	11.2845	0.253
	T2	10.98	0.22000	10.3692	11.5908	0.242
	T3	12.34	0.14000	11.9513	12.7287	0.098
	T4	11.96	0.18601	11.4436	12.4764	0.173

Fuente: elaboración propia

Nota: al 95% de confianza

**Tabla 9.** Prueba de Normalidad de las variables vegetales

*Shapiro-Wilk*

		Estadístico	gl.	Sig.
<i>Porcentaje germinativo (%)</i>	T0	0.684	5	0.006
	T1	0.684	5	0.006
	T2	0.883	5	0.325
	T3	0.552	5	0.000
	T4	0.684	5	0.006
<i>Área Foliar (cm<sup>2</sup>)</i>	T0	0.954	5	0.763
	T1	0.928	5	0.583
	T2	0.903	5	0.425
	T3	0.895	5	0.380
	T4	0.910	5	0.467
<i>Área del suelo (cm<sup>2</sup>)</i>	T0	0.950	5	0.738
	T1	0.735	5	0.022
	T2	0.800	5	0.081
	T3	0.845	5	0.179
	T4	0.921	5	0.537
<i>Peso fresco (gr)</i>	T0	0.976	5	0.914
	T1	0.794	5	0.072
	T2	0.924	5	0.556
	T3	0.983	5	0.949
	T4	0.923	5	0.547
<i>Peso seco (gr)</i>	T0	0.961	5	0.814
	T1	0.822	5	0.122
	T2	0.860	5	0.228
	T3	0.931	5	0.603
	T4	0.947	5	0.715

Fuente: elaboración propia  
Distribución normal ( $p > 0.05$ )

**Tabla 10.** Prueba de homogeneidad de varianzas de Levene de las variables vegetales

	Estadístico	gl1.	gl2.	Sig.
<i>% germinativo</i>	0.314	4	20	0.865
<i>Área foliar (cm<sup>2</sup>)</i>	0.386	4	20	0.816
<i>Peso fresco (gr)</i>	0.251	4	20	0.905
<i>Peso seco (gr)</i>	0.179	4	20	0.946

Fuente: elaboración propia  
Homegeneidad ( $p > 0.05$ )

Nota: el estadístico estimado se basa en la media

**Tabla 11.** Prueba ANOVA de las variables vegetales

ANOVA		
	F	Sig.
Porcentaje de germinación (%)	2.312	.093
Área foliar (cm <sup>2</sup> )	265.133	.000
Peso fresco (gr)	77.367	.000
Peso seco (gr)	82.958	.000

Fuente: propia

Existe diferencia significativa en al menos 2 tratamientos ( $p < 0.05$ )

**Tabla 12.** Prueba Tukey ( $p < 0.05$ ), respecto a la variable área foliar (cm<sup>2</sup>)

(I) Tratamiento	(J) Tratamiento	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Límite inferior	Límite superior
Control (C/N 19/I)	T1 (C/N 20/I)	-241,060*	12,272	,000	-277,784	-204,336
	T2 (C/N 25/I)	-253,040*	12,272	,000	-289,764	-216,316
	T3 (C/N 30/I)	-363,840*	12,272	,000	-400,564	-327,116
	T4 (C/N 35/I)	-322,660*	12,272	,000	-359,384	-285,936
T1 (C/N 20/I)	Control (C/N 19/I)	241,060*	12,272	,000	204,336	277,784
	T2 (C/N 25/I)	-11,980*	12,272	,863	-48,704	24,744
	T3 (C/N 30/I)	-122,780*	12,272	,000	-159,504	-86,056
	T4 (C/N 35/I)	-81,600*	12,272	,000	-118,324	-44,876
T2 (C/N 25/I)	Control (C/N 19/I)	253,040*	12,272	,000	216,316	289,764
	T1 (C/N 20/I)	11,980*	12,272	,863	-24,744	48,704
	T3 (C/N 30/I)	-110,800*	12,272	,000	-147,524	-74,076
	T4 (C/N 35/I)	-69,620*	12,272	,000	-106,344	-32,896
T3 (C/N 30/I)	Control (C/N 19/I)	363,840*	12,272	,000	327,116	400,564
	T1 (C/N 20/I)	122,780*	12,272	,000	86,056	159,504
	T2 (C/N 25/I)	110,800*	12,272	,000	74,076	147,524
	T4 (C/N 35/I)	41,180*	12,272	,023	4,456	77,904
T4 (C/N 35/I)	Control (C/N 19/I)	322,660*	12,272	,000	285,936	359,384
	T1 (C/N 20/I)	81,600*	12,272	,000	44,876	118,324
	T2 (C/N 25/I)	69,620*	12,272	,000	32,896	106,344
	T3 (C/N 30/I)	-41,180*	12,272	,023	-77,904	-4,456

Fuente: elaboración propia

Nota: La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

**Tabla 13.** Prueba Tukey ( $p < 0.05$ ), respecto a la variable peso fresco (gr)

(I) Tratamiento	(J) Tratamiento	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Límite inferior	Límite superior
Control (C/N 19/I)	T1 (C/N 20/I)	-24,180*	2,401	,000	-31,364	-16,996
	T2 (C/N 25/I)	-25,480*	2,401	,000	-32,664	-18,296
	T3 (C/N 30/I)	-38,360*	2,401	,000	-45,544	-31,176
	T4 (C/N 35/I)	-34,420*	2,401	,000	-41,604	-27,236
T1 (C/N 20/I)	Control (C/N 19/I)	24,180*	2,401	,000	16,996	31,364
	T2 (C/N 25/I)	-1,300*	2,401	,982	-8,484	5,884
	T3 (C/N 30/I)	-14,180*	2,401	,000	-21,364	-6,996
	T4 (C/N 35/I)	-10,240*	2,401	,003	-17,424	-3,056
T2 (C/N 25/I)	Control (C/N 19/I)	25,480*	2,401	,000	18,296	32,664
	T1 (C/N 20/I)	1,300*	2,401	,982	-5,884	8,484
	T3 (C/N 30/I)	-12,880*	2,401	,000	-20,064	-5,696
	T4 (C/N 35/I)	-8,940*	2,401	,010	-16,124	-1,756
T3 (C/N 30/I)	Control (C/N 19/I)	38,360*	2,401	,000	31,176	45,544
	T1 (C/N 20/I)	14,180*	2,401	,000	6,996	21,364
	T2 (C/N 25/I)	12,880*	2,401	,000	5,696	20,064
	T4 (C/N 35/I)	3,940*	2,401	,490	-3,244	11,124
T4 (C/N 35/I)	Control (C/N 19/I)	34,420*	2,401	,000	27,236	41,604
	T1 (C/N 20/I)	10,240*	2,401	,003	3,056	17,424
	T2 (C/N 25/I)	8,940*	2,401	,010	1,756	16,124
	T3 (C/N 30/I)	-3,940*	2,401	,490	-11,124	3,244

Fuente: elaboración propia

Nota: La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

**Tabla 14.** Prueba Tukey ( $p < 0.05$ ), respecto a la variable peso seco (gr)

(I) Tratamiento	(J) Tratamiento	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Límite inferior	Límite superior
Control (C/N 19/I)	T1 (C/N 20/I)	-2,680	,2658	,000	-3,475	-1,885
	T2 (C/N 25/I)	-3,000	,2658	,000	-3,795	-2,205
	T3 (C/N 30/I)	-4,360	,2658	,000	-5,155	-3,565
	T4 (C/N 35/I)	-3,980	,2658	,000	-4,775	-3,185
T1 (C/N 20/I)	Control (C/N 19/I)	2,680	,2658	,000	1,885	3,475
	T2 (C/N 25/I)	-,320	,2658	,749	-1,115	,475
	T3 (C/N 30/I)	-1,680	,2658	,000	-2,475	-,885
	T4 (C/N 35/I)	-1,300	,2658	,001	-2,095	-,505
T2 (C/N 25/I)	Control (C/N 19/I)	3,000	,2658	,000	2,205	3,795
	T1 (C/N 20/I)	,320	,2658	,749	-,475	1,115
	T3 (C/N 30/I)	-1,360	,2658	,000	-2,155	-,565
	T4 (C/N 35/I)	-,980	,2658	,011	-1,775	-,185
T3 (C/N 30/I)	Control (C/N 19/I)	4,360	,2658	,000	3,565	5,155
	T1 (C/N 20/I)	1,680	,2658	,000	,885	2,475
	T2 (C/N 25/I)	1,360	,2658	,000	,565	2,155
	T4 (C/N 35/I)	,380	,2658	,617	-,415	1,175
T4 (C/N 35/I)	Control (C/N 19/I)	3,980	,2658	,000	3,185	4,775
	T1 (C/N 20/I)	1,300	,2658	,001	,505	2,095
	T2 (C/N 25/I)	,980	,2658	,011	,185	1,775
	T3 (C/N 30/I)	-,380	,2658	,617	-1,175	,415

Fuente: elaboración propia

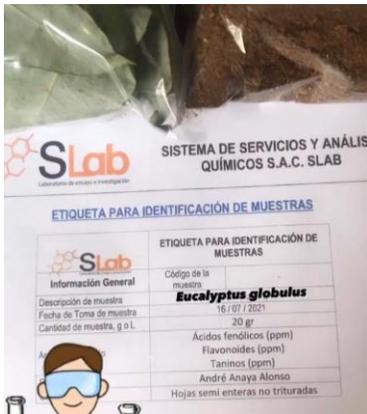
Nota: La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

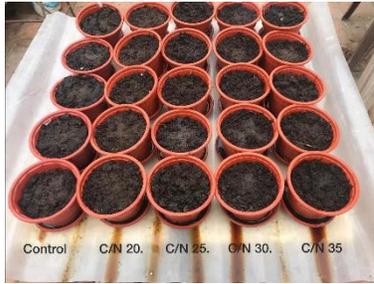
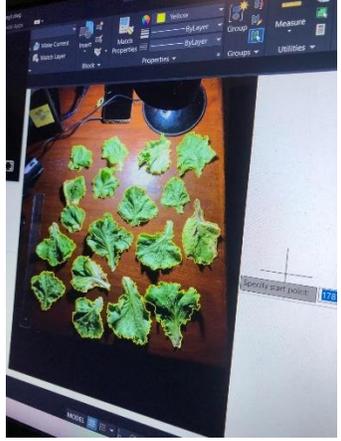
**Tabla 15.** Prueba Kruskal-Wallis para la variable porcentaje de germinación (%)

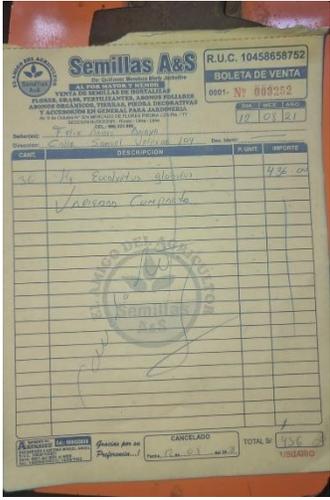
Prueba Kruskal-Wallis	
H de kruskal-wallis	7,379
gl.	4
Sig. asintótica	,117

Fuente: propia

**11.2. Anexos de imágenes**

<p><b>Figura 14.</b> Hojarasca de <i>E. globulus</i> var. compacta</p>	<p><b>Figura 15.</b> Cajas para compostajes</p>	<p><b>Figura 16.</b> Combinación de tratamientos de compost</p>
		
<p><b>Figura 17.</b> Muestras para laboratorio</p>	<p><b>Figura 18.</b> Etiquetas de laboratorio</p>	<p><b>Figura 19.</b> Tratamientos en la zona de compostaje</p>
		

<p><b>Figura 20.</b> Tratamientos de <i>E. globulus</i> var. compacta Semana 1</p>	<p><b>Figura 21.</b> Tratamientos de <i>E. globulus</i> var. compacta Semana 1</p>	<p><b>Figura 22.</b> Análisis de planimetría con AutoCAD</p>
		
<p><b>Figura 23.</b> Sistema radicular vigoroso Tratamiento 3</p>	<p><b>Figura 24.</b> Pesado de tratamientos</p>	<p><b>Figura 25.</b> Deshidratadora y tratamientos</p>
		

<p><b>Figura 26.</b> Comprobante de pago <i>E. globulus</i> var. compacta</p>	<p><b>Figura 27.</b> Hojarasca de <i>E. globulus</i> var. compacta</p>	<p><b>Figura 28.</b> Hojarasca de <i>E. globulus</i> var. compacta</p>
 <p>A receipt from 'Semillas A&amp;S' for the purchase of 'E. globulus globulus' and 'var. compacta' seeds. The receipt includes a R.U.C. number (10458658752), a sales slip number (888252), and a date (12/03/21). It lists the quantity as 436 units and a total price of 1500000.</p>	 <p>A photograph showing a pile of cut branches and leaves of E. globulus var. compacta, which are being used as mulch.</p>	 <p>A photograph showing a pile of cut branches and leaves of E. globulus var. compacta, similar to Figure 27, but with a yellow bag visible in the background.</p>
<p><b>Figura 29.</b> Peachímetro digital genérico</p>	<p><b>Figura 30.</b> Medidor de suelo electrónico 4-en-1, marca Gagee</p>	
 <p>A digital pH meter with a yellow handle and a black base, used for measuring soil acidity.</p>	 <p>A 4-in-1 electronic soil survey instrument by Gagee, shown next to its blue packaging. The device has a yellow handle and a long probe.</p>	

**Figura 31.** Primer informe de ensayo por el laboratorio Slab



**SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS S.A.C. SLAB**

**INFORME DE ENSAYO  
IE-160721-02**

- 1. DATOS DEL CLIENTE**
  - 1.1 Cliente : ANDRE ANAYA ALONSO
  - 1.2 RUC/DNI : 76271399
- 2. FECHAS**
  - 2.1 Inicio : 17 de Julio de 2021
  - 2.2 Fin : 25 de Julio de 2021
  - 2.3 Emisión de informe : 26 de Julio de 2021
- 3. CONDICIONES AMBIENTALES DE ENSAYO**
  - 3.1 Temperatura : 20.2 °C
  - 3.2 Humedad Relativa : 51 %
- 4. ENSAYO SOLICITADO Y METODOLOGÍA UTILIZADA**
  - 4.1 Ensayo solicitado y metodología usada : Determinación de Flavonoides, Taninos y fenoles / UV Visible  
Relación Carbono/Nitrógeno / UV Visible – Kjeldahl (Cálculo)

**5. DATOS DE LA MUESTRA ANALIZADA**

Tabla N°1: Datos de la muestra analizada

Código de Laboratorio	Descripción de Muestra
S-2013	Hoja de Eucalipto
S-2014	Estiércol de Bovino

**6. RESULTADOS**  
**6.1. Resultados Obtenidos**

Tabla N°2: RESULTADOS

PARÁMETRO	UNIDAD	MÉTODO	RESULTADO S-2013	RESULTADO S-2014
Determinación de Flavonoides	%	Espectrofotometría UV-Visible	0.27	0.13
Determinación de Taninos	%		27.06	0.88
Determinación de Fenoles	%		27.55	1.07
Relación Carbono/Nitrógeno	C:N	UV Visible – Kjeldahl (Cálculo)	45	19

- Los Resultados pertenecen a las muestras entregadas al laboratorio
- Queda prohibida la copia parcial de este informe sin el consentimiento por escrito de SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS SAC.

  
**DIEGO ROMANO VERGARAT D'ARRIGO**  
 QUÍMICO  
 CQP. 1337

**Figura 32.** Segundo informe de ensayo por el laboratorio Slab (página 1)



**SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS S.A.C. SLAB**

**INFORME DE ENSAYO  
IE-170222-05**

**1. DATOS DEL CLIENTE**

- 1.1 Cliente : ANDRE ANAYA ALONSO
- 1.2 RUC/DNI : NO PRECISA

**2. FECHAS**

- 2.1 Inicio : 17 de Febrero de 2022
- 2.2 Fin : 28 de Febrero de 2022
- 2.3 Emisión de informe : 01 de Marzo de 2022

**3. CONDICIONES AMBIENTALES DE ENSAYO**

- 3.1 Temperatura : 20.3 °C
- 3.2 Humedad Relativa : 50 %

**4. ENSAYO SOLICITADO Y METODOLOGÍA UTILIZADA**

- 4.1 Ensayo solicitado y método de ensayo : Ácidos fenólicos/ Espectrofotometría UV-Visible  
Taninos/ Espectrofotometría UV-Visible

**5. DATOS DE LA MUESTRA ANALIZADO**

**TABLA N°1: DATOS DE LA MUESTRA ANALIZADA**

Código Interno de Muestra	Tipo de Muestra	Identificación de Cliente
S-3329	COMPOST	M1: CONTROL / COMPOST MADURO FECHA: 17/02/2022
S-3330	COMPOST	M2: C/N 20 / COMPOST MADURO FECHA: 17/02/2022
S-3331	COMPOST	M3: C/N 25 / COMPOST MADURO FECHA: 17/02/2022
S-3332	COMPOST	M1: C/N 30 / COMPOST MADURO FECHA: 17/02/2022
S-3333	COMPOST	M1: C/N 35 / COMPOST MADURO FECHA: 17/02/2022

- Los Resultados pertenecen a las muestras entregadas al laboratorio
- Queda prohibida la copia parcial de este informe sin el consentimiento por escrito de SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS SAC.



**DIEGO ROMÁN VERGARAY D'ARRIGO**  
QUÍMICO  
CQP. 1337

**Figura 33.** Segundo informe de ensayo por el laboratorio Slab (página 2)



**SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS  
QUÍMICOS S.A.C. SLAB**

**6. RESULTADOS**  
**6.1. Resultados Obtenidos**

**Tabla N°2: RESULTADOS OBTENIDOS**

Parámetro	Unidad	Resultado S-3329	Resultado S-3330	Resultado S-3331	Resultado S-3332	Resultado S-3333
Ácidos Fenólicos	%	0.0357	0.0455	0.0712	0.0958	0.1592
Taninos	%	0.3508	0.429	0.1769	0.9384	1.5704

- Los Resultados pertenecen a las muestras entregadas al laboratorio
- Queda prohibida la copia parcial de este informe sin el consentimiento por escrito de SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS SAC.



  
DIEGO ROMANO VERGARAY D'ARRIGO  
QUÍMICO  
CQP. 1337