



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ  
MANUEL FÉLIX LÓPEZ**

**DIRECCIÓN DE CARRERA: MEDIO AMBIENTE**

**INFORME DE TRABAJO DE TITULACIÓN  
PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN  
MEDIO AMBIENTE**

**MODALIDAD: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**TEMA:**

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL COMPOST ELABORADO A  
PARTIR DE SUBPRODUCTOS DE ARROZ (*Oryza sativa*) Y YUCA  
(*Manihot esculenta*)**

**AUTORES:**

**ELVIS JOSUE MERO FUENTES**

**FRANKLIN ABDEL BARREIRO SOLÓRZANO**

**TUTOR:**

**ING. JOSÉ MANUEL CALDERÓN PINCAY, M. Sc.**

**CALCETA, OCTUBRE DE 2021**

## DERECHOS DE AUTORÍA

**ELVIS JOSUE MERO FUENTES Y FRANKLIN ABDEL BARREIRO SOLÓRZANO**, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos los derechos de propiedad intelectual a la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual y su reglamento.



**MERO FUENTES ELVIS JOSUE**



**BARREIRO SOLÓRZANO FRANKLIN**

## CERTIFICACIÓN DE TUTOR

**ING. JOSÉ MANUEL CALDERÓN PINCAY** certifica haber tutelado el proyecto **EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL COMPOST ELABORADO A PARTIR DE SUBPRODUCTOS DE ARROZ (*Oryza sativa*) Y YUCA (*Manihot esculenta*)**, que ha sido desarrollada por **ELVIS JOSUE MERO FUENTES Y FRANKLIN ABDEL BARREIRO SOLÓRZANO**, previa la obtención del título de Ingeniero en Medio Ambiente, de acuerdo al **REGLAMENTO PARA LA ELABORACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN DE LA UNIDAD DE TITULACIÓN ESPECIAL** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

---

**ING. JOSÉ M. CALDERÓN PINCAY, M. Sc**

## **APROBACIÓN DEL TRIBUNAL**

Los suscritos integrantes del tribunal correspondiente, declaramos que hemos **APROBADO** el trabajo de titulación **EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL COMPOST ELABORADO A PARTIR DE SUBPRODUCTOS DE ARROZ (*Oryza sativa*) Y YUCA (*Manihot esculenta*)**, que ha sido propuesta, desarrollada por **ELVIS JOSUE MERO FUENTES Y FRANKLIN ABDEL BARREIRO SOLÓRZANO**, previa la obtención del título de Ingeniero en Medio Ambiente, de acuerdo al **REGLAMENTO PARA LA ELABORACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

---

**PhD. JOSÉ LIZARDO REYNA BOWEN**

**MIEMBRO**

---

**ING. JONATHAN CHICAIZA INTRIAGO., MSc.**

**MIEMBRO**

---

**BLGA. MARÍA PINCAY CANTOS., Mg.**

**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

## AGRADECIMIENTO

En primer lugar, doy gracias a Dios por darme salud, bienestar y sabiduría, ya que sin mi padre celestial no soy nada. En segundo lugar, agradezco a la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí “Manuel Félix López” que me dio la oportunidad de estudiar y adquirir conocimientos a través de mis queridos maestros que día a día se esfuerzan por ser mejores en su rol profesional.

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Elvis Josue Mero Fuentes', written over a horizontal line.

**ELVIS JOSUE MERO FUENTES**

## AGRADECIMIENTO

Como fiel católico agradezco la bendición de Dios que me ha acompañado a lo largo de mi carrera universitaria, siendo esta mi fortaleza en mis momentos de debilidad y malas tentaciones.

Le doy gracias a mis padres, Franklin e Inés por apoyarme en todo momento y haberme brindado la oportunidad de tener una excelente educación a pesar de la distancia y por enseñarme valores que me han ayudado a ser una persona responsable y respetuosa.

A mi hermano Diego y a mi hermana Yaritza, por ser un ejemplo claro de que la educación y los buenos valores nos hacen personas grandes y reconocidas que están siempre dispuestas a ayudar a los demás sin esperar nada a cambio.

A los docentes de cada asignatura aprobada en cada semestre porque gracias a ellos he obtenido los conocimientos que serán de gran ayuda en mi vida profesional.

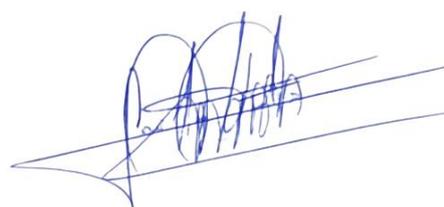


---

**FRANKLIN ABDEL BARREIRO SOLÓRZANO**

## DEDICATORIA

Este nuevo logro se lo dedico a Dios por ser el creador de mi aliento de vida y a mis padres por ser mis primeros docentes para mi formación civil.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Elvis Josue Mero Fuentes', written over a horizontal line.

**ELVIS JOSUE MERO FUENTES**

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Dios por haberme brindado su bendición y buena salud en el transcurso del proceso de tesis porque con la falta de su gracia no hubiese sido posible. A mis padres porque esto también es parte de ellos y sin su apoyo quizás no hubiese culminado mi educación en esta prestigiosa universidad. A mis hermanos y amigos que han sido testigos fieles de todo mi proceso de educación y han formado parte fundamental en cualquier apoyo moral que he necesitado para sentirme acompañado y saber que estoy rodeado de excelentes personas que no esperan nada a cambio cuando me brindaron su ayuda.



---

**FRANKLIN BARREIRO SOLÓRZANO**

## CONTENIDO GENERAL

DERECHOS DE AUTORÍA.....	ii
CERTIFICACIÓN DE TUTOR.....	iii
APROBACIÓN DE TRIBUNAL.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
DEDICATORIA.....	vii
DEDICATORIA.....	viii
CONTENIDO GENERAL.....	ix
CONTENIDO DE CUADROS, GRÁFICOS, ECUACIONES Y FIGURAS.....	xii
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT.....	vxi
1. CAPÍTULO I. ANTECEDENTES.....	1
1.1 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	1
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	3
1.3 OBJETIVOS.....	5
1.3.1 OBJETIVO GENERAL.....	5
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	5
1.4 HIPÓTESIS .....	5
2. CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO .....	6
2.1 COMPOST A BASE DE SUBPRODUCTOS AGRÍCOLAS.....	6

2.2	SUBPRODUCTOS AGRÍCOLAS (CASCARILLA DE ARROZ Y CÁSCARA DE YUCA).....	7
2.2.1	PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE LA CÁSCARA DE YUCA.....	8
2.2.2	PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE LA CASCARILLA DE ARROZ .	8
2.3	SISTEMAS DE COMPOSTAJE .....	9
2.3.1	SISTEMAS ABIERTOS .....	9
2.3.2	SISTEMAS CERRADOS .....	9
2.4	CALIDAD DE COMPOST .....	10
2.4.1	PARÁMETROS PARA MEDIR LA CALIDAD DE COMPOST .....	11
2.5	NORMATIVA CHILENA NCH2880 DE CALIDAD DE COMPOST .....	16
3.	CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO.....	18
3.1	UBICACIÓN.....	18
3.2	DURACIÓN DEL TRABAJO.....	18
3.3	MÉTODOS Y TÉCNICAS.....	19
3.3.1	MÉTODOS .....	19
3.3.2	TÉCNICAS .....	19
3.4	VARIABLES .....	20
3.4.1	VARIABLE INDEPENDIENTE .....	20
3.4.2	VARIABLE DEPENDIENTE.....	20
3.5	DISEÑO EXPERIMENTAL.....	20
3.6	FACTORES EN ESTUDIO.....	20

3.7	ANOVA .....	21
3.8	UNIDAD EXPERIMENTAL.....	21
3.9	INDICADORES DE RESPUESTA.....	22
3.10	ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....	22
3.11	MANEJO EXPERIMENTAL .....	22
3.11.1	FASE I. ELABORACIÓN DEL COMPOST A BASE DE SUBPRODUCTOS DE ARROZ (CASCARILLA) Y YUCA (CÁSCARA) .....	22
3.11.2	FASE II. ESTABLECER LA CALIDAD DEL COMPOST BAJO LA NORMATIVA CHILENA Nch2880.....	25
4.	CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	31
4.1	ELABORACIÓN DEL COMPOST A BASE DE SUBPRODUCTOS DE ARROZ (CASCARILLA) Y YUCA (CÁSCARA).....	31
4.2	ESTABLECIMIENTO LA CALIDAD DEL COMPOST BAJO LA NORMATIVA CHILENA NCh2880 .....	36
4.2.1	GENERALIDADES DE LOS RESULTADOS.....	49
4.2.2	COMPROBACIÓN DE LA HIPÓTESIS .....	50
5.	CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	53
5.1	CONCLUSIONES .....	53
5.2	RECOMENDACIONES .....	54
6.	BIBLIOGRAFÍA.....	55
7.	ANEXOS.....	66

## CONTENIDO DE CUADROS, GRÁFICOS Y FIGURAS

<b>Cuadro 2.1.</b> Nivel de la calidad de compost. ....	11
<b>Cuadro 2.2.</b> Parámetros de pH óptimos. ....	12
<b>Cuadro 2.3.</b> Parámetros de temperatura óptimos. ....	13
<b>Cuadro 2.4.</b> Parámetros de la relación C/N. ....	16
<b>Cuadro 2.5.</b> Límites permisibles de calidad del compost. ....	17
<b>Cuadro 3.1.</b> Proporciones en porcentaje de cada sustrato para los tratamientos. ...	20
<b>Cuadro 3.2.</b> Análisis de Varianza de los factores y su interacción. ....	21
<b>Cuadro 3.3.</b> Indicadores de respuesta. ....	22
<b>Cuadro 3.4.</b> Factor "A". ....	22
<b>Cuadro 3.5.</b> Factor "B". ....	23
<b>Cuadro 3.6.</b> Distribución de los tratamientos. ....	23
<b>Cuadro 3.7.</b> Descripción de la cantidad de sustrato. ....	23
<b>Cuadro 3.8.</b> Bosquejo de las variables fisicoquímicas. ....	30
<b>Cuadro 4.1.</b> Conversión de ppm o mg/kg a % del nitrógeno. ....	37
<b>Cuadro 4.2.</b> ANOVA de nitrógeno. ....	37
<b>Cuadro 4.3.</b> Prueba de Duncan de la variable nitrógeno para el factor "A". ....	38
<b>Cuadro 4.4.</b> Conversión de ppm o mg/kg a % de fósforo. ....	39
<b>Cuadro 4.5.</b> ANOVA de fósforo. ....	40
<b>Cuadro 4.6.</b> Prueba de Duncan del Factor B en el fósforo. ....	40

<b>Cuadro 4.7.</b> Conversión de ppm o mg/kg a % de potasio. ....	41
<b>Cuadro 4.8.</b> ANOVA de potasio.....	42
<b>Cuadro 4.9.</b> Prueba de Duncan de la interacción de la variable potasio. ....	42
<b>Cuadro 4.10.</b> ANOVA de MO. ....	43
<b>Cuadro 4.11.</b> Prueba de Duncan en la interacción de MO. ....	44
<b>Cuadro 4.12.</b> ANOVA de relación carbono/nitrógeno.....	45
<b>Cuadro 4.13.</b> Prueba de Duncan de la interacción de C/N.....	46
<b>Cuadro 4.14</b> ANOVA de índice de toxicidad.....	48
<b>Cuadro 4.15.</b> Resultados de las muestras del laboratorio de la variable N para el factor “A”.....	49
<b>Cuadro 4.16.</b> Resultados de las muestras del laboratorio de la variable P para el factor “B”.....	49
<b>Cuadro 4.17.</b> Resultados de las muestras del laboratorio de K, MO y C/N para sus interacciones.....	50
<b>Cuadro 4.18.</b> Análisis de los resultados bajo la normativa chilena Nch2880.....	51
<b>Gráfico 4.1.</b> Comportamiento de temperatura.....	31
<b>Gráfico 4.2.</b> Comportamiento del pH.....	33
<b>Gráfico 4.3.</b> Comportamiento de CE.....	35
<b>Gráfico 4.4.</b> Contenido de nitrógeno.....	36
<b>Gráfico 4.5.</b> Contenido de fósforo. ....	39
<b>Gráfico 4.6.</b> Contenido de potasio.....	41

<b>Gráfico 4.7.</b> Contenido de Materia Orgánica.....	43
<b>Gráfico 4.8.</b> Contenido de Relación C/N. ....	45
<b>Gráfico 4.9.</b> Índice de toxicidad del compost por el método de % de germinación. ....	47
<b>Ecuación 3.1</b> Porcentaje de contenido orgánico .....	26
<b>Ecuación 3.2</b> Relación carbono-nitrógeno .....	27
<b>Ecuación 3.3</b> Índice de germinación .....	28
<b>Ecuación 3.4</b> Porcentaje de germinación relativo .....	28
<b>Ecuación 3.5</b> Crecimiento de radícula relativo .....	28
<b>Ecuación 3.6</b> Valor del macronutriente en ppm .....	29
<b>Ecuación 3.7</b> Factor de conversión.....	29
<b>Ecuación 3.8</b> Factor de conversión de ppm o mg/kg a % .....	29
<b>Figura 2.1</b> Temperatura, oxígeno y pH en el proceso de compostaje .....	7
<b>Figura 3.1</b> Ubicación del proyecto de investigación, CIIDEA.....	18

## RESUMEN

La cascarilla de arroz y cáscara de yuca son subproductos que se procesan de manera inadecuada en zonas industriales; contribuyendo a la contaminación ambiental (suelo, agua y aire). Dichos subproductos tienen excelentes propiedades fisicoquímicas pudiendo ser utilizados en compost ricos en nutrientes para el desarrollo de plantas y estructura del suelo; evaluando la calidad fisicoquímica del compost a base de subproductos de arroz (*Oryza sativa*) y yuca (*Manihot esculenta*) en el Centro de Investigación, Innovación y Desarrollo Agropecuario (CIIDEA). Se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) con estructura bifactorial, estudiando seis tratamientos con tres repeticiones, dando en total 18 unidades experimentales distribuidos de la siguiente forma: 75% cascarilla de arroz + 25% cáscara de yuca (en pila y tanque), 50% cascarilla de arroz + 50% cáscara de yuca (en pila y tanque), 25% cascarilla de arroz + 75% (en pila y tanque). Se evaluaron indicadores fisicoquímicos (temperatura, pH, CE, NPK, MO, relación C/N) y se determinó la calidad del compost según la norma chilena Nch2880. De acuerdo al análisis estadístico, se evidenció diferencias significativas según resultados del ANOVA y prueba media Duncan al 5% de error en el T<sub>4</sub> en las variables K y MO, el nitrógeno tuvo significancia en el factor "A", el fósforo tuvo significancia en el factor "B" y, la relación C/N tuvo significancia en el T<sub>6</sub>; siendo tipificados como compost clase "B" cumpliendo con lo que dictamina la norma Nch2880 y permite ser empleado como sustrato para cultivo.

**PALABRAS CLAVES:** Abono orgánico, Cáscara de yuca, cascarilla de arroz, *Manihot esculenta*, *Oryza sativa*.

## ABSTRACT

Rice husks and cassava husks are by-products that are inadequately processed in industrial areas, contributing to environmental pollution (soil, water and air). These by-products have excellent physicochemical properties and can be used in compost rich in nutrients for plant development and soil structure; evaluating the physicochemical quality of compost based on rice (*Oryza sativa*) and cassava (*Manihot esculenta*) by-products at the Centro de Investigación, Innovación y Desarrollo Agropecuario (CIIDEA). A completely randomized design (CRD) with bifactorial structure was used, studying six treatments with three replications, giving a total of 18 experimental units distributed as follows: 75% rice husk + 25% cassava husk (in pile and tank), 50% rice husk + 50% cassava husk (in pile and tank), 25% rice husk + 75% (in pile and tank). Physicochemical indicators (temperature, pH, EC, NPK, MO, C/N ratio) were evaluated and compost quality was determined according to Chilean standard Nch2880. According to the statistical analysis, there were significant differences according to the ANOVA results and Duncan mean test at 5% error in  $T_4$  in the K and MO variables, nitrogen was significant in factor "A", phosphorus was significant in factor "B" and the C/N ratio was significant in  $T_6$ ; being classified as class "B" compost, complying with the requirements of the Nch2880 standard and allowing it to be used as a substrate for cultivation.

**KEY WORDS:** Cassava husk, rice husk, organic fertilizer, *Oryza sativa*, *Manihot esculenta*.

# CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

## 1.1 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Chávez y Rodríguez (2016) estiman que en el mundo el incremento de los espacios urbanos, así como la gente que habita en ellos, ha desarrollado de forma equitativa el dispendio de diferentes aspectos como el transporte, comercio y los recursos ambientales; generando en su mayoría desechos líquidos y sólidos, lo que acarrea una problemática social y ambiental en todos los países en la demanda de servicios y productos, conjunto a esto, aproximadamente el 46% de desechos de todo el planeta son orgánicos, originarios de acciones básicas del hogar, actividades boscosas y agropecuarias según lo expuesto por (Hoornweg y Bhada-Tata, 2012).

De acuerdo a datos de Crespo (2019), poco más o menos de 2'106.695,86 t/año de subproductos de arroz se forjan en el país, en Manabí se forman alrededor de 64.497,63 t/año en residuos arroceros. Según estadísticas del (Sistema de Información Nacional de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca [SINAGAP], 2013), en el territorio nacional los sitios cultivados de yuca son aproximadamente 22.000 ha con un provecho de 4 t/ha; cabe mencionar que, el uso por cabeza de yuca es de 12 kg/persona.

El Sistema de Información Pública Agropecuaria (SIPA, 2020) afirma que en la provincia de Manabí la superficie cosechada de arroz es de 6.793 ha y su producción es de 32.349 t, con un aporte al PIB nacional del 3,09% mientras que la yuca cuenta con 982 ha, siendo su aporte menor, su producción es de 8.596 t y tiene un rendimiento de 8.75 t/ha; generando residuos significativos, puesto que, las cáscaras que se forman en la procesadora de almidón "Olla Vieja" ubicada en San Pablo de Tarugo y en la piladora de arroz "Gaibor" en Rocafuerte son quemadas sobre el suelo y desechadas en vertederos de agua contribuyendo a la creciente contaminación ambiental del entorno y con cero aporte de ayuda a la cadena de valor agregado, minimizando la posibilidad de su utilización como materia prima en otras producciones (compost).

Bono (2019) indica que la problemática en Manabí es que los productores de arroz y yuca queman los subproductos, y esa acción genera la emisión masiva de contaminantes al ambiente, aunque en otras ocasiones los subproductos se suelen depositar en afluentes, lo que aumenta la sedimentación y bloquea los canales de riego. Por otra parte, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación [FAO] (2016) menciona que la cantidad actual de residuos agrícolas de arroz y yuca en el campo generan impactos negativos en el suelo y emiten gases de efecto invernadero a la atmósfera, por lo tanto, la Comisión para la Cooperación Ambiental [CCA], (2014) indica que por el mal manejo de subproductos agrícolas se originan 40% en CO<sub>2</sub>, 32% en CO, 20% en material particulado y 8% en hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), emitidos a escala universal.

El desconocimiento por parte de los pequeños productores de arroz y yuca en el país y en el cantón Bolívar sobre la utilización de subproductos (cáscara de yuca y cascarilla de arroz) para la elaboración de compost hace que se desaproveche estos residuos agrícolas y se genere impactos negativos sobre el medio ambiente.

Por lo expuesto se plantea la siguiente interrogante:

¿Cómo influye la combinación de cascarilla de arroz (*Oryza sativa*) y cáscara de yuca (*Manihot esculenta*) en las características químicas del compost?

## 1.2 JUSTIFICACIÓN

Santana (2012) considera que poner en práctica el desarrollo de un compost para el mejoramiento del medio ambiente es concientizar a la población para que disminuyan los residuos orgánicos, o mejor, que se aprovechen todos sus nutrientes para el beneficio del suelo y las plantas. El desarrollo implica grandes beneficios como, por ejemplo: devolver nutrientes a la tierra, controlar la erosión, corregir la textura y estructura de los suelos y actuar como esponja que retiene agua gracias a la porosidad; ya que los macroporos son responsables del drenaje y aireación del suelo y los microporos retienen agua para las plantas, que libera poco a poco en beneficio de ellas.

Vásquez y Loli (2018) mencionan que, en la búsqueda de alternativas de desarrollo sostenible, el compost y los productos derivados del mismo han adquirido un especial auge por su capacidad de restituir al suelo una cierta proporción de materia orgánica para mejorar sus propiedades físicas y químicas aportando de esa manera al apartado 15 de los (Objetivos de Desarrollo Sostenible [ODS], 2015) que plantea la Asamblea General de las Naciones Unidas, la cual permite proteger, restablecer y promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres y detener e invertir la degradación de las tierras y la pérdida de biodiversidad.

El presente trabajo pretende generar información segura sobre la calidad fisicoquímica del compost utilizando dos factores: porcentajes de subproductos a compostar y las técnicas de sistema abierto (pilas) y cerrado (tanques), además pretende disminuir el impacto ambiental que generan los residuos orgánicos. La situación actual en relación con la disposición final de residuos, requiere la búsqueda de nuevas soluciones como el aprovechamiento de estos residuos orgánicos.

Suzi (como se citó en Kanissery y Sims, 2018) menciona que la cáscara de yuca posee características físico químicas que demuestran que es rica en carbohidratos y fibras; con bajo contenido de grasas, siendo su componente principal el agua, ya que posee una humedad elevada, que ayudará a hidratar y dar energía a los organismos que se encuentren presentes en el proceso de maduración del compost. Preysler (2016) afirma que la cáscara de yuca representa entre el 16 a 20% del peso total de

la raíz y su calidad es bastante uniforme, conteniendo mayor proporción de minerales que la pulpa. La (Fundación para el Desarrollo Socioeconómico y Restauración Ambiental [FUNDESRyam], 2017) menciona que la cascarilla de arroz mejora las características físicas del suelo y de los abonos orgánicos, facilitando la aireación y filtración de nutrientes.

La investigación se justifica debido a que la producción de un abono orgánico a base de subproductos abarca aspectos ambientales, económicos y sociales. Varona (2012) indica que desde el punto de vista ambiental se reducirán las cantidades de residuos o subproductos de las actividades agrícolas que serán usados como sustrato en la elaboración del compost, económico porque no demanda de una gran inversión para el abono orgánico, y social puesto que las familias pueden comercializar el abono elaborado, esto está contemplado dentro de los tres ejes del Plan Nacional de Desarrollo “Toda una Vida” (los derechos para todos durante toda la vida, la economía al servicio de la sociedad y más sociedad, mejor estado) para el periodo 2017 – 2021 (SENPLADES, 2017).

## **1.3 OBJETIVOS**

### **1.3.1 OBJETIVO GENERAL**

Evaluar las características fisicoquímicas del compost a partir de cascarilla de arroz (*Oryza sativa*) y cáscara de yuca (*Manihot esculenta*).

### **1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Elaborar un compost a base de la cascarilla de arroz y cáscara de yuca.
- Establecer la calidad del compost bajo la normativa chilena Nch2880.

## **1.4 HIPÓTESIS**

La aplicación del tratamiento con 50% de ambos subproductos (yuca y arroz) preparado en un sistema de tanque tendrá mejores resultados en los parámetros fisicoquímicos del compost contemplado en la normativa chilena Nch2880.

## CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

### 2.1 COMPOST A BASE DE SUBPRODUCTOS AGRÍCOLAS

La FAO (2013) define al compostaje como “un proceso biológico, que sucede en condiciones aeróbicas (presencia de oxígeno)”. Para Águila (2019) “el compost es la descomposición controlada de materiales orgánicos como frutas, verduras, podas, pasto, hojas, etc.”. Casillas (2017) indica que el compost se puede definir como “el resultado de un proceso de humificación de la materia orgánica, bajo condiciones controladas y en ausencia de suelo.”. El compost es un nutriente para el suelo que mejora la estructura y ayuda a reducir la erosión y ayuda a la absorción de agua y nutrientes por parte de las plantas.

Reta (2019) indica que, una forma de realizar compost es utilizando restos orgánicos u agrícolas de distintas fuentes tales como estiércol, residuos de cultivos, hojarasca y material leñoso ya que los desechos de origen biológico tienen fácil degradación y sobre todo enriquece la materia orgánica del suelo. Valderrama (2018) afirma que a partir de “residuos agrícolas se puede obtener un buen compost utilizando desechos de cosechas y desperdicios orgánicos ya que mejora las características del suelo.”.

La importancia de la fabricación de un compost radica en que ayuda a reducir la cantidad de basura orgánica que acaba en vertederos o incineradoras, devuelve al suelo materia orgánica y se obtiene abono de muy alta calidad sin compuestos químicos y libre de patógenos (Mendoza, 2018).

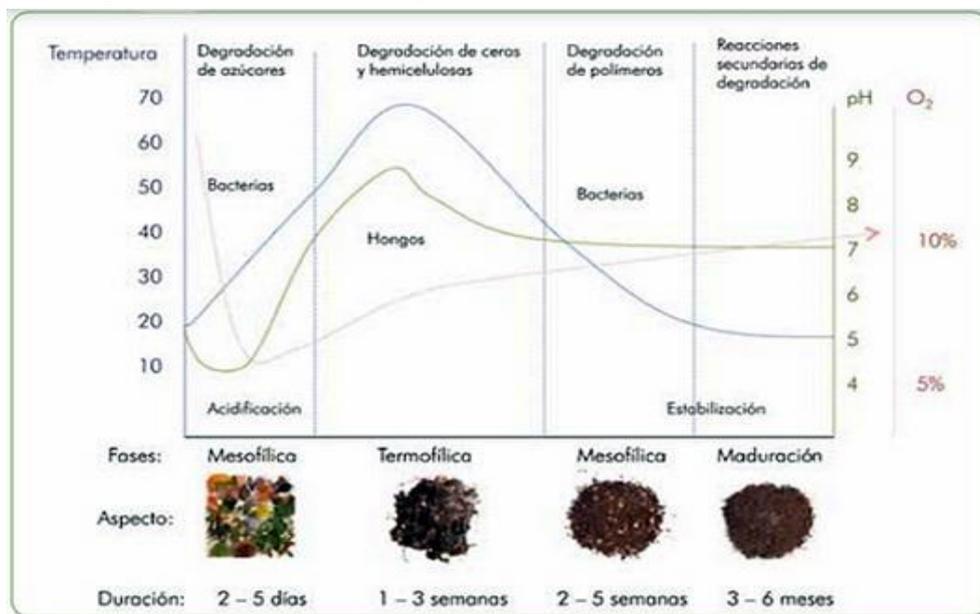
Parámetros como la humedad y temperatura aseguran la degradación de los materiales orgánicos en un producto homogéneo y nutritivo para las plantas. Cabrera y Rossi (2016) declaran que existen cuatro fases en el proceso de compostaje:

- **Mesófila:** Esta primera fase es la que inicia el proceso de degradación de la materia orgánica, la temperatura oscila entre 10 a 40 °C durante dos semanas, en esta fase se produce calor debido a la degradación realizada por microorganismos como bacterias y hongos, una de las características de esta fase es que el pH tiende a disminuir con valores alrededor de 5,5.
- **Termófila:** en esta fase la temperatura aumenta mucho más debido a la fermentación realizada por microorganismos, puede alcanzar temperaturas

entre 40 a 70°C. En la fase desaparecen muchos organismos mesófilos, el pH tiende a ascender y sobre todo hay una demanda de oxígeno.

- **Enfriamiento:** aquí se producen algunos cambios, transformando en su totalidad la MO (materia orgánica), la temperatura disminuye durante el proceso llegando a una temperatura ambiente, el pH se estabiliza y se reduce la demanda de oxígeno.
- **Maduración:** en la última fase de compostaje se puede considerar que se requiere de meses para que se cumpla el proceso, el tiempo radica de tres a seis meses generalmente y su temperatura es ambiente.

**Figura 2.1** Temperatura, oxígeno y pH en el proceso de compostaje.



Fuente: Manual de Compostaje de la FAO (2013).

## 2.2 SUBPRODUCTOS AGRÍCOLAS (CASCARILLA DE ARROZ Y CÁSCARA DE YUCA)

Como expresa García (2015) “los subproductos agrícolas son materias de origen vegetal o animal procedente de la producción, cosecha, transporte y elaboración en zonas agrícolas”. Calderón (2018) indica que se llama subproducto al residuo de un proceso que se le puede dar una segunda utilidad, no es un desecho porque no se elimina, y se usa para otras finalidades.

### **2.2.1 PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE LA CÁSCARA DE YUCA**

Ospina (2014) señala que “la cáscara de yuca es un tejido que está compuesto por el peridermis y la corteza, el peridermis está compuesto por células de corcho muertas que envuelvan la raíz; además la textura es rugosa con una coloración de café claro o marrón oscuro”. Albis (2017) manifiesta que la cáscara de yuca es un subproducto que se obtiene de la utilización de la raíz, tanto en alimentación humana directa como en la industrialización. La yuca presenta un elemento tóxico que es el ácido cianhídrico o prúsico, que se encuentra en mayor proporción en la cáscara; la deshidratación natural por acción de los rayos solares es quizás el sistema más seguro para destruir el ácido cianhídrico (Tejada, 2016). Este subproducto posee valores de calcio y fósforo de 0.90% y 0.30%, respectivamente (Albis, 2017).

Albis (2017), afirma que la cáscara de yuca sirve para remover metales pesados principalmente Pb, Cd y Zn, de soluciones acuosas, además se puede combinar la cáscara de yuca con acetato de polivinilo (Colbón) para elaborar tableros de partículas, los cuales son afables con la naturaleza y no generan gases.

### **2.2.2 PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE LA CASCARILLA DE ARROZ**

Vargas (2013) menciona que “la cascarilla de arroz es un subproducto que proviene del proceso de molienda del grano de arroz proveniente de los campos de cultivo, se utiliza para regenerar las tierras de cultivos a través de compostas (abono)”. Leconte (2010), indica que este subproducto es un tejido vegetal constituido por celulosa y sílice. Según Sierra (2012) la cascarilla de arroz presenta una gran variedad de características físicas como el contenido de humedad, baja densidad, alta dureza, su baja conductividad térmica, buen drenaje, buena aireación y poder calorífico, en la composición química se encuentran características como el  $K_2O$  1.10%,  $Na_2O$  0.78%,  $CaO$  0.25%, N 0.5%, P 0.08%.

La cascarilla de arroz es de gran importancia en la realización de compostaje ya que posee la propiedad de retener la humedad, retrasa el endurecimiento del suelo y contribuye al desarrollo de las plantas (Vargas, 2013).

## **2.3 SISTEMAS DE COMPOSTAJE**

Bertoldi (2016) afirma que hay numerosos sistemas para llevar a cabo el proceso de maduración del compost. Para realizar la clasificación, se establecen dos categorías principales: sistemas abiertos y sistemas cerrados.

### **2.3.1 SISTEMAS ABIERTOS**

Como señala Tortosa (2015) los sistemas abiertos son los más utilizados por su sencillez y viabilidad técnica y económica. Consisten en colocar los sustratos a compostar en montones o pilas (pueden estar al aire libre o protegidos de factores meteorológicos bajo tejado) y se distinguen dos sistemas fundamentales, los de pila móvil y los de pila estática.

- **EN PILAS**

Es una técnica súper sencilla, pero, sobre todo económica, se caracteriza porque la pila se remueve de vez en cuando para nivelar la mezcla y su temperatura (Álvarez, 2015). La aireación del compostaje puede llevarse a cabo de forma natural con la ayuda de volteos manuales, esta permite el control de mal olor, control de insectos y la velocidad de degradación de la materia orgánica, este depende de la textura, estabilidad y humedad de la mezcla (Alonso, 2011).

- **EN PILAS ESTÁTICAS AIREADAS POR INSUFLACIÓN**

Estos sistemas permiten tener un mayor control de la concentración de oxígeno y mantenerla en un intervalo apropiado (15-20%) para favorecer la actividad metabólica de los microorganismos aerobios que desarrollan el proceso (Betrentz y Giraldo, 2016).

### **2.3.2 SISTEMAS CERRADOS**

Tortosa (2015) afirma que “los sistemas cerrados permiten un mayor control de las condiciones del proceso y de las emisiones, pero presentan como mayor inconveniente los elevados costes de inversión y mantenimiento e implican el uso de un reactor o digestor que puede ser vertical u horizontal, donde se realiza la primera fase del proceso para posteriormente dejar madurar el material en el exterior del reactor”.

- **REACTORES O CONTENEDORES**

Estos sistemas permiten un mejor control de los distintos parámetros del proceso en la mayor parte de los casos, así como un menor tiempo de residencia y la posibilidad de realizar un proceso continuo (Sztern y Pravia, 2014). Bertoldi (2016) menciona que, “los reactores de flujo horizontal se dividen entre aquellos que poseen un depósito rotatorio, los que poseen un depósito de geometría variable con un dispositivo de agitación o los que no poseen un sistema de agitación y permanecen estáticos”. Libreros (2012), afirma que, en relación con esto, “los abonos orgánicos deben de cumplir parámetros que garanticen mejorar la calidad del suelo, el suministro de nutrimentos, facilitar la penetración del agua, incrementar la retención de humedad, y mejorar la actividad biológica del suelo”

## **2.4 CALIDAD DE COMPOST**

El compost, ha de cumplir requisitos mínimos, que se pueden concretar en un aspecto y olor aceptables, una higienización correcta, un bajo nivel de impurezas y contaminantes, un buen nivel de componentes agronómicamente útiles y una cierta constancia de características. Si el compost no cumple con unos criterios de calidad, su aplicación puede ocasionar diversos inconvenientes (López y Sainz, 2011). Cabe recalcar que existe una clasificación de compost según la normativa chilena Nch2880 (2004).

**Cuadro 2.1.** Nivel de la calidad de compost.

<b>Clase A</b>	Producto de alto nivel de calidad que cumple con las exigencias establecidas en esta norma para el compost clase "A". Este producto no presenta restricciones de uso, debido a que ha sido sometido a un proceso de humificación. Puede ser aplicado a macetas directamente y sin necesidad que sea previamente mezclado con otros materiales.
<b>Clase B</b>	Producto de nivel intermedio de calidad que cumple con las exigencias establecidas en esta norma para compost Clase B. Puede ser aplicado en macetas, requiere ser mezclado con otros elementos adecuados.
<b>Compost inmaduro o subestándar</b>	Materia orgánica que ha pasado por las etapas mesofílica y termofílicas del proceso de compostaje, donde ha sufrido una descomposición inicial, pero no ha alcanzado las etapas de enfriamiento y maduración necesarias para obtener un compost clase A o clase B. es un producto que se debe mezclar para ser aplicado para no producir hambre de nitrógeno.

**Fuente:** NCh2880 Compost – Clasificación y Requisitos (2004).

#### 2.4.1 PARÁMETROS PARA MEDIR LA CALIDAD DE COMPOST

El primer aspecto a evaluar es si el material obtenido mediante compostaje ha pasado a ser un producto o continúa siendo un residuo, durante el compostaje, el estiércol y otros desechos deben ser mezclados en proporciones tales que la relación carbono/nitrógeno (C/N), la humedad y la aireación sean adecuadas para que estimulen una actividad microbiana intensiva, que modifique la estructura química y física de los materiales, cambiando la especiación química para que los nutrientes sean disponibles (Hernández *et al.*, 2013).

La utilización del compost que se genera de diferentes residuos implica un conocimiento adecuado de sus propiedades; esto permite conocer en qué condiciones y tipos de suelos es posible su uso, ya sea como fertilizante, enmienda orgánica o acondicionador; de acuerdo a estudios realizados por Bohórquez, Puente y Menjívar (2014), las variables respuesta para evaluar la calidad de compost son: pH, relación carbono/nitrógeno (C/N), conductividad eléctrica (CE), humedad relativa (HR), materia orgánica (MO), nitrógeno (N), fósforo (P), calcio (Ca), magnesio (Mg), potasio (K), hierro (Fe), cobre (Cu), manganeso (Mn) y zinc (Zn).

- **pH.** Vélez (2018) indica que el pH es un valor que indica si un producto o material (en este caso compost) es ácido (pH inferior a 7), alcalino (pH superior a 7) o neutro (pH igual a 7). El mismo autor menciona que, conviene que el

compost sea lo más neutro posible porque los microorganismos responsables de la descomposición de los restos orgánicos no toleran valores muy alejados del 7. Si esto se produjese, el proceso de compostaje se detendría o se ralentizaría notablemente.

**Cuadro 2.2.** Parámetros de pH óptimos.

pH		Causas asociadas	Soluciones
< 4,5	Exceso de ácidos orgánicos	Los materiales vegetales como restos de cocina, frutas, liberan muchos ácidos orgánicos y tienden a acidificar el medio.	Adición de material rico en nitrógeno hasta conseguir una adecuada relación C/N.
<b>4,5 - 8,5 Intervalo ideal</b>			
> 8,5	Exceso de nitrógeno	Cuando hay un exceso de nitrógeno en el material de origen, con una deficiente relación C/N, asociado a humedad y altas temperaturas, se produce amoniaco alcalinizando el medio.	Adición de material más seco y con mayor contenido en carbono (restos de poda, hojas secas, aserrín)

**Fuente:** Manual de Compostaje de la FAO (2013).

- **TEMPERATURA**

Cazares (2017) enfatiza que durante el proceso de compostaje hay que controlar la temperatura. En las primeras fases del proceso la temperatura debe alcanzar valores próximos a los 65°C, no debe superar valores mayores, ya que pueden morir muchos microorganismos.

**Cuadro 2.3.** Parámetros de temperatura óptimos.

<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Causas asociadas</b>	<b>Soluciones</b>
<b>Bajas temperaturas (T. ambiente &lt; 35°C)</b>	Humedad insuficiente.	Las bajas temperaturas pueden darse por varios factores, como la falta de humedad, por lo que los microorganismos disminuyen la actividad metabólica y, por tanto, la temperatura baja. Humedecer el material o añadir material fresco con mayor porcentaje de humedad (restos de fruta y verduras, u otros).
	Material Insuficiente.	Insuficiente material o forma de la pila inadecuada para que alcance una temperatura adecuada. Añadir más material a la pila de compostaje.
	Déficit de nitrógeno o baja C/N.	El material tiene una alta relación C/N y, por lo tanto, los microorganismos no tienen el N suficiente para generar enzimas y proteínas y disminuyen o ralentizan su actividad. La pila demora en incrementar la temperatura más de una semana. Añadir material con alto contenido en nitrógeno como estiércol.
<b>Altas temperaturas (T ambiente &gt;70°C)</b>	Ventilación y humedad insuficiente	La temperatura es demasiado alta y se inhibe el proceso de descomposición. Se mantiene actividad microbiana pero no la suficiente para activar a los microorganismos mesofílicos y facilitar la terminación del proceso. Volteo y verificación de la humedad (55-60%). Adición de material con alto contenido en carbono de lenta degradación (madera, o pasto seco) para que ralentice el proceso.

**Fuente:** Manual de Compostaje de la FAO (2013).

#### • CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (CE)

Bárbaro (2017) indica que la CE es la medida de la capacidad de un material para conducir la corriente eléctrica, el valor será más alto cuanto más fácil se mueve la corriente a través del mismo. A su vez, esto significa que, a mayor CE, mayor es la concentración de sales. Reta (2019) recomienda que la CE de un sustrato sea baja, en lo posible menor a 1dS/m, debido que, facilita el manejo de la fertilización y se evitan problemas de toxicidad en el cultivo.

- **NITRÓGENO (N)**

Soledispa (2020) indica que, el nitrógeno es un nutriente químico importante para el desarrollo de las plantas, específicamente para las hojas y los tallos. En sí es el responsable del color verde de las vegetaciones y ayuda a que las plagas no destruyan la flora, la proporción oscila entre el 0,5% y el 2 % de contenido. Benimeli (2019) afirma que, el N es esencial porque es el componente de los aminoácidos, que son las unidades estructurales de las proteínas, también es el componente de moléculas de enzimas, vitaminas, hormonas y ácidos nucleicos, además es esencial en la utilización de los carbohidratos y estimula el crecimiento y desarrollo radicular de las plantas.

- **FÓSFORO (P)**

Elizalde (2018) hace referencia que el fósforo es un macroelemento vital para el crecimiento de las plantas, participa en los procesos metabólicos, tales como la fotosíntesis, la transferencia de energía y la síntesis y degradación de los carbohidratos. Abril (2019) menciona que el P es importante en un compost ya que, cuando éste esté maduro y se implemente en el suelo ayuda en la formación de flores, semillas y frutos, también interviene en el desarrollo de las raíces y tiene un papel importante en la resistencia a la sequía. Tortosa (2015) indica que, un compost está suficientemente maduro su proporción de contenido oscila entre 0,6% a 2,5%.

- **POTASIO (K)**

Vélez (2018) afirma que el potasio es un macronutriente importante para las plantas las cuales necesitan de este nutriente para su formación. Cumple un papel importante en la activación de enzimas que actúan en diferentes procesos metabólicos, dentro de los más importantes están la fotosíntesis y la síntesis de proteínas y carbohidratos (García y Quinke, 2018). Según Soledispa (2020), en el compost se encuentra el K en una proporción entre el 0,5% y el 1,5 %, en forma mayoritaria de óxido de potasio ( $K_2O$ ).

- **MATERIA ORGÁNICA (MO)**

La MO es uno de los componentes más importantes del suelo y de un compost porque es el tipo de material de origen animal o vegetal que regresa al suelo después de un proceso de descomposición en el cual participan microorganismos como bacterias, hongos o nemátodos que aportan al suelo sustancias orgánicas (FAO, 2013).

Andrade (2018) indica que, los microorganismos realizan un proceso de descomposición o mineralización y cambian su forma orgánica a inorgánica (minerales solubles o insolubles), estos minerales son aprovechados por plantas y organismos. Durante el compostaje la materia orgánica tiende a descender debido a su mineralización y a la consiguiente pérdida de carbono en forma de anhídrido carbónico (Bueno, 2017).

Mendoza (2019) afirma que el porcentaje ideal de contenido de MO al finalizar el proceso de compostaje debe ser de 25%.

- **RELACIÓN CARBONO NITRÓGENO**

Martínez (2018) señala que la relación indica la fracción de carbono orgánico frente a la de nitrógeno. Prácticamente la totalidad del nitrógeno orgánico presente en un residuo orgánico es biodegradable y, por tanto, disponible. Con el carbono orgánico ocurre lo contrario ya que una gran parte se engloba en compuestos no biodegradables que impiden su disponibilidad en la agricultura. El mismo autor señala que, el intervalo óptimo en los residuos orgánicos para un correcto compostaje se encuentra entre 20 a 50 :1.

**Cuadro 2.4.** Parámetros de la relación C/N.

C/N		Causas asociadas	Soluciones
> 35: 1	Exceso de carbono	Existe en la mezcla una gran cantidad de materiales ricos en carbono. El proceso tiende a enfriarse y a ralentizarse	Adición de material rico en nitrógeno hasta conseguir una adecuada relación C/N.
<b>15: 1 - 35: 1 Intervalo ideal</b>			
< 15: 1	Exceso de Nitrógeno	En la mezcla hay una mayor cantidad de material rico en nitrógeno, el proceso tiende a calentarse en exceso y se generan malos olores por el amoníaco liberado.	Adición de material con mayor contenido en carbono (restos de poda, hojas secas, aserrín)

**Fuente:** Manual de Compostaje de la FAO (2013).

## 2.5 NORMATIVA CHILENA NCH2880 DE CALIDAD DE COMPOST

El Instituto Nacional de Normalización [INN] (2016) indica que la normativa tiene por objeto establecer la clasificación y requisitos de calidad de compost producido a partir de residuos orgánicos y otros materiales generados por la actividad humana, tales como los agroindustriales, agrícolas, animales, pesqueros, de mercados y ferias libres que se comercializan productos vegetales.

Para corroborar que un compost es totalmente maduro, es de vital importancia realizar la prueba de determinación de toxicidad de plantas. La norma chilena 2880 indica que, para todas las clases de compost, deben prosperar el 90% de las semillas sembradas en el compost. Tortosa (2013) indica que, valores superiores al 80% acreditan que el compost es un producto estable para su uso.

El ensayo de germinación es una prueba realizada en laboratorio; la cual, consiste en colocar semillas en sustrato húmedo, en condiciones controladas de luz, temperatura y humedad para que germinen y alcancen un nivel de desarrollo (Dominica, 2018).

**Cuadro 2.5.** Límites permisibles de calidad del compost.

Parámetros	Límites según Normativa Chilena		
	Clase A	Clase B	Compost inmaduro
pH	5,0 - 7,5	7,51 - 8,5	-
C.E. (S/m)	< 5	> 5,1	-
M.O. (%)	≥ 45	≥ 25	-
C/N (%)	10 - 45	45,1 - 70	-
N (%)	≥ 0,5	≥ 0,6	-
P (%)	≥ 0,1	≤ 0,1	-
Cu (mg.kg <sup>-1</sup> )	< 100	< 1000	-
Zn (mg.kg <sup>-1</sup> )	< 200	< 2000	-
Pb (mg.kg <sup>-1</sup> )	< 100	< 300	-
Cd (mg.kg <sup>-1</sup> )	< 2	< 8	-
Cr (mg.kg <sup>-1</sup> )	< 120	< 600	-
Humedad (%)	30 - 45	30 - 45	> 45
Toxicidad (%)	> 90	> 90	< 90

**Fuente:** NCh2880 Compost – Clasificación Y Requisitos (2004).

## CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO

### 3.1 UBICACIÓN

La investigación se realizó en el Centro de Investigación, Innovación y Desarrollo Agropecuario (CIIDEA) de la carrera de Ingeniería Ambiental de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí “Manuel Félix López”, ubicada en el sitio “El Limón”, situada geográficamente entre las coordenadas 0° 49' 23" Latitud Sur; 80° 11' 01" Longitud Oeste y una altitud de 15 msnm de la parroquia Calceta del cantón Bolívar, provincia de Manabí. El tiempo en el que se realizó el proyecto, la temperatura máxima del lugar fue de 30,97°C y su temperatura mínima fue de 19,47°C. La humedad relativa del área de estudio tuvo un valor de 78,33%.



Figura 3.1 Ubicación del proyecto de investigación, CIIDEA.

Fuente: Google Maps, (2020).

### 3.2 DURACIÓN DEL TRABAJO

El proyecto tuvo una duración de diez meses (desde marzo hasta diciembre) a partir de la etapa de ejecución del proyecto en el año 2020.

### **3.3 MÉTODOS Y TÉCNICAS**

#### **3.3.1 MÉTODOS**

- **MÉTODO INDUCTIVO**

Gracias a este método se logró demostrar que, en la investigación propuesta, se obtendrá un compost orgánico beneficioso para mejorar la calidad nutrimental del suelo, esto se realizó mediante la experimentación y combinaciones de los subproductos de arroz y yuca.

- **MÉTODO ESTADÍSTICO**

Se empleó la Estadística Descriptiva para la obtención, representación, análisis, interpretación y proyección de las características fisicoquímicas, a su vez se utilizó la Estadística Inferencial para decretar la diferencia entre tratamientos con el Análisis de Varianza (ANOVA) y a raíz de este, se usó la prueba de Duncan al 5% de error para determinar qué tratamiento obtuvo mejor características en las variables ensayadas.

- **MÉTODO BIBLIOGRÁFICO**

En la presente investigación se compiló la información relevante al tema para un mejor entendimiento sistematizado, los datos fueron basados en fuentes bibliográficas de primer orden, entre las que se pueden mencionar: artículos científicos, libros, tesis de pregrado y posgrado, y sitios web en lo referente a temas relacionados con el aprovechamiento de cascarilla de arroz y cáscara de yuca en la elaboración del compost.

#### **3.3.2 TÉCNICAS**

- **RECOLECCIÓN DE DATOS**

En el proceso de compostaje se tomó datos diariamente de las variables físicas (temperatura, pH y CE) para observar el comportamiento de estas con la ayuda de los instrumentos de medición como el termómetro, potenciómetro y conductímetro, una vez obtenido el producto final, se recolectó datos de las variables químicas para demostrar que al menos un tratamiento tuvo excelentes resultados en lo que contempla la normativa chilena Nch2880.

### 3.4 VARIABLES

#### 3.4.1 VARIABLE INDEPENDIENTE

Subproductos de arroz y yuca; y, los sistemas de compostaje abiertos y cerrados.

#### 3.4.2 VARIABLE DEPENDIENTE

Calidad fisicoquímica del compost.

### 3.5 DISEÑO EXPERIMENTAL

Se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) con estructura bifactorial de tratamientos con el fin de estudiar los efectos producidos por los dos factores de investigación (proporciones de subproductos y sistemas de compostaje) y sus interacciones con seis tratamientos y tres repeticiones, por lo cual, se obtuvo un total de dieciocho unidades experimentales. Se aplicó la prueba estadística ANOVA y prueba de Duncan en los parámetros químicos, ya cuando se obtuvo el compost final.

### 3.6 FACTORES EN ESTUDIO

- **Factor A:** Porcentaje de cascarilla de arroz + Porcentaje de cáscara de yuca.
- **Factor B:** Sistemas (tanques y pilas).

**Cuadro 3.1.** Proporciones en porcentaje de cada sustrato para los tratamientos.

Tratamiento	Cascarilla de arroz %	Cáscara de yuca %
T <sub>1</sub>	75	25 (en pila)
T <sub>2</sub>	75	25 (en tanque)
T <sub>3</sub>	50	50 (en pila)
T <sub>4</sub>	50	50 (en tanque)
T <sub>5</sub>	25	75 (en pila)
T <sub>6</sub>	25	75 (en tanque)

**Fuente:** Los investigadores.

### 3.7 ANOVA

**Cuadro 3.2.** Análisis de Varianza de los factores y su interacción.

Fuente de variación	Grados de libertad
FACTOR A	2
FACTOR B	1
FACTOR A*B	2
ERROR	12
TOTAL	17

**Fuente:** Los investigadores.

### 3.8 UNIDAD EXPERIMENTAL

Para el compostaje se recolectó 45 kg como peso total para cada unidad experimental (cascarilla de arroz y cáscara de yuca) dividiendo los porcentajes correspondientes para cada tratamiento. Las corridas experimentales estuvieron constituidas por una pila de 0,50 m de altura, 0,80 m de ancho y 1 m de largo (ANEXO 1). Cada pila estuvo dividida en tres grupos, teniendo un total de nueve divisiones. También hubo nueve tanques de 220 l que estuvieron en una fila para su mejor facilidad al momento de controlar las variables físicas en el proceso de compostaje (ANEXO 2).

En base a la teoría que se refiere al compost como un proceso biológico, que ocurre en condiciones aeróbicas (presencia de oxígeno) y que gracias a la adecuada humedad y temperatura se asegura una transformación de los restos orgánicos en un material homogéneo (FAO, 2013), se tomaron medidas todos los días del proceso de compostaje para demostrar el comportamiento de temperatura, potencial de hidrógeno y conductividad eléctrica, tomando muestras compuestas en cada pila y tanque, considerando la experiencia e investigaciones realizadas por (Bohórquez *et al.*, 2014).

### 3.9 INDICADORES DE RESPUESTA

**Cuadro 3.3.** Indicadores de respuesta.

Parámetros	Métodos	Unidad de medida
Temperatura	Termómetro de suelo	°C
pH	potenciómetro de suelo	
Conductividad eléctrica	Conductímetro	S/m
Materia Orgánica	Calcinación	%
Relación C/N	Materia orgánica y Nitrógeno	%
Nitrógeno	Método por estandarización (espectrofotómetro)	ppm
Fósforo	Método por estandarización (espectrofotómetro)	ppm
Potasio	Método por estandarización (espectrofotómetro)	ppm

**Fuente:** Los investigadores.

### 3.10 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos de las variables fisicoquímicas fueron ingresados en el software Microsoft Excel y luego el análisis estadístico se lo realizó en el software InfoStat 2020, donde se les realizó un ANOVA y una prueba estadística de Duncan al 5% de error a todos los tratamientos con sus respectivas repeticiones.

### 3.11 MANEJO EXPERIMENTAL

#### 3.11.1 FASE I. ELABORACIÓN DEL COMPOST A BASE DE SUBPRODUCTOS DE ARROZ (CASCARILLA) Y YUCA (CÁSCARA)

##### Actividad 1. Diseño de las proporciones para los tratamientos

Se determinó las proporciones para los seis tratamientos.

**Cuadro 3.4.** Factor "A".

Factor "A"	
Niveles	Porcentajes
a <sub>1</sub>	75% cascarilla de arroz + 25% cáscara de yuca
a <sub>2</sub>	50% cascarilla de arroz + 50% cáscara de yuca
a <sub>3</sub>	25% cascarilla de arroz +75% cáscara de yuca

**Fuente:** Los investigadores.

**Cuadro 3.5.** Factor "B".

Factor "B"	
Niveles	Preparación
$b_1$	En pilas
$b_2$	En tanques

Fuente: Los investigadores.

### Actividad 2. Establecer las unidades experimentales

Las unidades se llevaron a cabo mediante dos factores, el primer factor "A" se trata del porcentaje de cascarilla de arroz y cáscara de yuca, mientras que el segundo factor "B" se realizó por la forma de preparación (sistemas abiertos en pilas y sistemas cerrados en tanques de plástico), teniendo así los seis tratamientos con tres repeticiones y dando un valor de 18 unidades experimentales.

**Cuadro 3.6.** Distribución de los tratamientos.

Tratamiento	Combinaciones
T <sub>1</sub>	$a_1b_1$ (75% cascarilla de arroz + 25% cáscara de yuca * en pila)
T <sub>2</sub>	$a_1b_2$ (75% cascarilla de arroz + 25% cáscara de yuca * en tanque)
T <sub>3</sub>	$a_2b_1$ (50% cascarilla de arroz + 50% cáscara de yuca * en pila)
T <sub>4</sub>	$a_2b_2$ (50% cascarilla de arroz + 50% cáscara de yuca * en tanque)
T <sub>5</sub>	$a_3b_1$ (25% cascarilla de arroz + 75% cáscara de yuca * en pila)
T <sub>6</sub>	$a_3b_2$ (25% cascarilla de arroz + 75% cáscara de yuca * en tanque)

Fuente: Los investigadores.

### Actividad 3. Pesado de los sustratos para ser distribuido en cada tratamiento

Ambos subproductos fueron pesados de acuerdo a la cantidad requerida para cada tratamiento con sus respectivas repeticiones utilizando una balanza mecánica según la (FAO, 2013).

**Cuadro 3.7.** Descripción de la cantidad de sustrato.

Tratamiento	Cascarilla de arroz (kg)	Cáscara de yuca (kg)
T <sub>1</sub>	34	11 (en pila)
T <sub>2</sub>	34	11 (en tanque)
T <sub>3</sub>	22,5	22,5 (en pila)
T <sub>4</sub>	22,5	22,5 (en tanque)
T <sub>5</sub>	11	34 (en pila)
T <sub>6</sub>	11	34 (en tanque)

Fuente: Los investigadores.

#### **Actividad 4. Construcción de sistemas de compostaje**

Según Alcoverro (2016), para la construcción de las composteras es necesario tener en cuenta el tamaño adecuado de la pila que será de  $\frac{1}{2}$  m de altura, 1 m de largo y 0,80 m de ancho; en cuanto a la compostera horizontal o discontinua se dispondrá de un tanque plástico de 220 litros para una mejor distribución de la humedad y de la compactación debido a su facilidad para el volteo (manivela), obteniéndose un producto homogéneo.

Se montaron las composteras en el área de vivero de CIIDEA, se adaptó la técnica de sistemas abiertos (en pilas) y sistemas cerrados (en tanques) de acuerdo a la metodología de la FAO (2013) sobre el Manual de Compostaje del Agricultor, la cual se realizó el siguiente procedimiento:

- Se limpió cada área de las composteras, con el fin de asegurar y eliminar cualquier elemento que pudiera afectar el proceso de compostaje.
- Se construyó las pilas de compost teniendo una medida adecuada para realizar los respectivos volteos.
- Los sustratos fueron amontonados y tuvieron un peso de 45 kg cada tratamiento dando una altura de 0,50 m en las pilas y en cada tanque.
- Se procedió a cubrir las pilas con plástico negro con la finalidad de incrementar una mayor capacidad de calor y por ende un mayor proceso de descomposición de la materia orgánica.
- Para el sistema cerrado se procedió a poner los sustratos en tanques plásticos de 220 l para el compostaje.

#### **Actividad 5. Ejecución del volteo y riego manual**

El volteo de cada pila se lo realizó manualmente con una frecuencia semanal durante tres meses; el objetivo fue ayudar a que el metabolismo aerobio cumpla con el proceso homogéneamente en toda la materia orgánica y permitir una temperatura uniforme (Cabrera y Rossi, 2016). En el sistema de tanques, es importante que el material (cáscara de yuca) tenga un tamaño entre 1 y 2 cm y la cascarilla de arroz esté molida para un proceso de descomposición óptimo y eficaz, por lo cual cada recipiente fue llenado de subproductos para la descomposición de la materia orgánica durante tres meses. Después de este tiempo de llenado, cada tratamiento se dejó en

reposo compostando hasta que el proceso de compostaje finalizó y se extraiga el compost final (FAO, 2013).

#### **Actividad 6. Control del experimento (variables físicas)**

- **Temperatura y pH:** Se llevó un control de temperatura y pH in situ durante los 7 días de la semana en todo el proceso del compostaje, con horario en la mañana (6h30), para evitar la alteración de los valores provocados por las altas temperaturas gracias a las radiaciones solares u otras variables meteorológicas (ANEXO 3 y 4). Para estos parámetros se usó la técnica electroanalítica, la cual se la realizó con la ayuda de un instrumento electrónico Ksruee 4 in 1 Soil Analyzer cuya función es medir la temperatura y pH de los sustratos (ANEXO 8). Para obtener los resultados dentro del control se efectuó la siguiente acción: Se realizó un orificio de 6 cm en cada pila y se introdujo el Ksruee en el orificio y se dejó durante un minuto, mientras que en el sistema de tanques se realizó la misma técnica (FAO, 2013).
- **Conductividad eléctrica:** Todos los días se tomaron datos para medir la conductividad eléctrica utilizando el método de conductímetro, para lograr aquello (ANEXO 5), se procedió a colocar una relación 1:2 suelo/agua destilada expuesta por Ruíz (2016), estableciendo lo siguiente:
  - Se pesó 150 g de sustrato y se añadió 300 ml de agua destilada.
  - Se agitó y mezcló el sustrato junto al agua y se esperó 15 minutos para tomar los datos de cada tratamiento.
  - Finalmente, se realizó la respectiva medición de conductividad eléctrica a cada tratamiento.

### **3.11.2 FASE II. ESTABLECER LA CALIDAD DEL COMPOST BAJO LA NORMATIVA CHILENA Nch2880**

#### **Actividad 7. Análisis de las variables químicas**

- **NPK:** Las pruebas de evaluación de contenido de nitrógeno, fósforo y potasio (NPK): se lo realizó al obtener el compost final. Para la evaluación del compost se realizó estudios de las variables NPK de cada uno de los tratamientos para obtener valores concretos (ANEXO 6), se envió las muestras al Laboratorio de Medio Ambiente de la Universidad de las Fuerzas Armadas certificado por el

SAE (Servicio de Acreditación Ecuatoriano) para lo cual se envió al laboratorio aproximadamente 1 kg de muestra de cada tratamiento, colocadas en papel aluminio y luego bolsas plásticas para ser rotuladas.

- **Materia orgánica:** El método de calcinación se utilizó para la determinación del contenido orgánico, básicamente este método sirvió para determinar la oxidación cuantitativa de materia orgánica en el compost final y proporciona una estimación válida del contenido orgánico. Según Tortosa (2013) hay que seguir la siguiente metodología:
  - Se tomó 100 g de muestra de cada tratamiento del compost final, luego cada porción del material se pasó mediante un tamiz de 2,00 mm para eliminar impurezas.
  - Se colocaron las muestras en recipientes diferentes y se secaron en el horno a 105°C hasta tener un peso constante durante una hora, luego de aquello, se procedió a colocar las muestras en el desecador durante diez minutos.
  - Se tomó 15 g de muestra de cada tratamiento y se colocaron en crisoles tarados y pesados
  - Se colocó cada crisol que contiene las muestras del compost final en la mufla durante seis horas a 445°C, luego de aquello, se procedió a poner cada crisol en el desecador durante diez minutos hasta enfriar para luego ser pesado en una balanza (ANEXO 9).

Para saber el porcentaje del contenido orgánico, se utilizó la siguiente ecuación:

$$\% MO = \frac{A - B}{B - C} * 100 \qquad \text{Ecuación 3.1}$$

Donde:

A: peso del crisol y del suelo seco al horno antes de la calcinación.

B: peso del crisol y del suelo seco después de la calcinación.

C: peso del crisol.

- **Relación carbono nitrógeno:** La relación carbono – nitrógeno está en función del % de materia orgánica (%MO) obtenida de acuerdo a la constante de Jackson y del % de nitrógeno (%N). Por lo tanto, la ecuación para determinar la relación (C/N) es:

$$\left(\frac{C}{N}\right) = \frac{(\%MO) \times 0.58}{\%N} \quad \text{Ecuación 3.2}$$

Donde:

%N = % Nitrógeno total.

(%MO) = % Materia orgánica.

### **Actividad 8. Medición del estado de madurez (índice de germinación)**

Una vez obtenidos los análisis de las variables físico-químicas, se procedió a medir el estado de madurez del compost. Varnero *et al.* (2007) indican que si el compost no cumple los requisitos de maduración contiene alto índice de fitotoxinas (pueden ser producidas por las propias plantas, microorganismos, reacciones químicas naturales o simplemente por la competencia entre microorganismos y plantas por algún recurso nutrimental o el agua) que pueden inhibir la tasa de germinación de las plantas (ANEXO 10).

La toxicidad del compost fue evaluada con semillas de lechuga (*Lactuca sativa*) debido al potencial que tienen al germinar en un medio de material orgánico que ha alcanzado el estado de madurez, dichas semillas fueron empleadas por (Varnero y Rojas, 2017) en su investigación y cabe recalcar que, el tiempo de exposición que tuvieron las semillas para el IG fueron de 144 horas (seis días) después de los 135 días del material compostado

El método que se empleó para determinar la toxicidad del compost fue el de Zucconi *et al.* (1981) bajo la metodología expuesta por Cabrera y Rossi, (2016) siguiendo estos pasos:

- Se colocó 15 g de sustrato tamizado de cada tratamiento en cajas Petri, añadiéndole 10 ml de agua destilada y se dejó en reposo durante 30 minutos.

- Luego, se puso 10 semillas de *Lactuca sativa* en cada caja Petri y se procedió a taparlas para que no estén al contacto con el medio exterior.
- Las semillas se llevaron a un espacio oscuro donde no recibieron luz natural o eléctrica y después se las cubrió con un plástico negro durante seis días, se revisó esporádicamente cada sustrato para observar si aún tenían humedad, en el caso de no tener, se aplicaba 1 ml de agua destilada para mantener el extracto acuoso.
- Finalizado los seis días, se procedió a cuantificar el número de semillas germinadas y su longitud alcanzada por las raíces. Los resultados se expresan como Índice de Germinación (IG).

Para la medición del estado de madurez del compost se determinó a través del Índice de Germinación (IG) bajo la metodología expuesta por Cabrera y Rossi, (2016) mediante la ecuación:

$$IG (\%) = \frac{PGR (\%) * CRR (\%)}{100} \quad \text{Ecuación 3.3}$$

En donde:

IG (%): Índice de germinación expresado en porcentaje

PGR (%): Porcentaje de germinación relativo

CRR (%): Crecimiento de radícula relativo

Para saber PGR y CRR, se toma en cuenta las siguientes ecuaciones:

$$PGR (\%) = \frac{GMn}{Gc} * 100 \quad \text{Ecuación 3.4}$$

En donde:

GMn: número de semillas germinadas en la muestra "n" (n=1,2,3,4...)

Gc: Número de semillas germinadas en la muestra control.

$$CRR (\%) = \frac{LMn}{Lc} * 100 \quad \text{Ecuación 3.5}$$

En donde:

LMn: Longitud promedio de las raíces en la muestra "n" (n=1, 2, 3, 4, ...)

Lc: Longitud promedio de las raíces en la muestra control.

### Actividad 9. Eficiencia de las características químicas

Se usó un factor de conversión (FC) para los parámetros químicos de NPK. Se utilizó los valores del laboratorio con el propósito de presentar los resultados y se efectuó la conversión de ppm o mg/kg a % cómo se presenta en la ecuación.

$$A = \frac{mg}{kg} \quad \text{Ecuación 3.6}$$

$$FC = \frac{1\%}{10000 \frac{mg}{kg}} \quad \text{Ecuación 3.7}$$

$$A * FC = \frac{mg}{kg} * \frac{1\%}{10000 \frac{mg}{kg}} = \% \quad \text{Ecuación 3.8}$$

En donde:

A: Valor del contenido del macronutriente en mg/kg o ppm.

FC: Factor de conversión.

A\*FC: Porcentaje del macronutriente.

### Actividad 10. Análisis de la composición nutrimental de compost

Se realizó el cuadro 3.8., con todas las variables fisicoquímicas, unidades de medida y métodos a evaluar para así determinar la calidad del compost mediante la normativa chilena NCh2880.

**Cuadro 3.8.** Bosquejo de las variables fisicoquímicas.

Parámetros	Tratamientos						Límite		Cumplimiento	
	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	Clase A	Clase B	Clase A	Clase B
pH										
C.E. (dS/m)										
M.O. (%)										
C/N (%)										
N (%)										
P (%)										
K (%)										
Toxicidad (%)										

**Fuente:** Los investigadores.

### **Actividad 11. Calidad de compost**

Para el análisis de la calidad del compost se tomó como referencia los estándares establecidos por el Instituto Nacional de Normalización de la República de Chile en la norma NCh2880 dado que en el Ecuador no existe una legislación que regule este producto.

## CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 ELABORACIÓN DEL COMPOST A BASE DE SUBPRODUCTOS DE ARROZ (CASCARILLA) Y YUCA (CÁSCARA)

El control del proceso físico se lo efectuó tomando los datos de las variables temperatura, potencial de hidrógeno y conductividad eléctrica, cabe mencionar que dichos datos se los recolectaron durante trece semanas dando los siguientes resultados.

#### ● TEMPERATURA

En el gráfico 4.1., se presentan las temperaturas resultantes para considerar al producto final como un compost que cumplió todas las fases del proceso de compostaje en los seis tratamientos, evidenciándose el incremento de temperatura en las pilas y tanques instalados, alcanzando su máximo en la cuarta semana y mostrando un comportamiento diferente en todos los tratamientos con sus repeticiones.

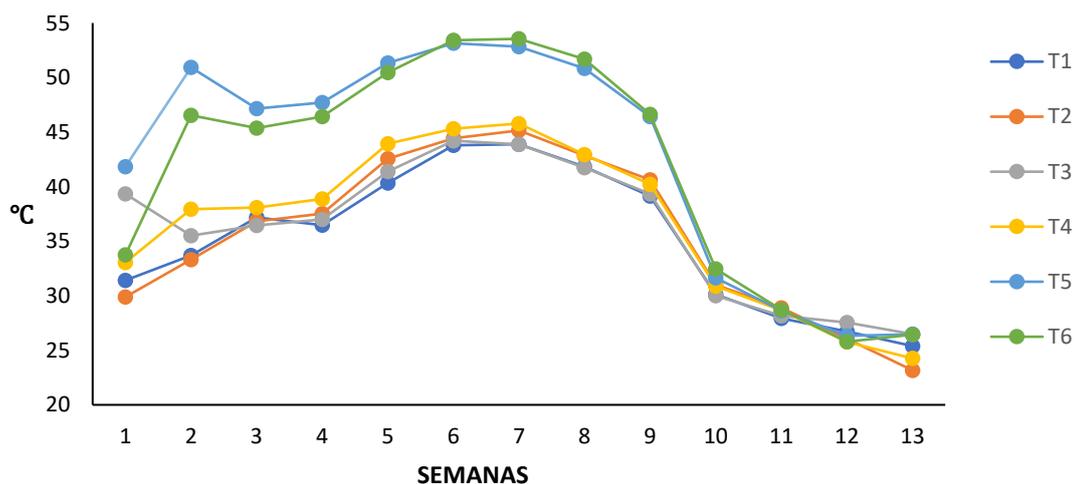


Gráfico 4.1. Comportamiento de temperatura.

En las primeras cuatro semanas, los seis tratamientos tuvieron temperaturas distintas que oscilaron entre 33,04°C hasta 47,71°C; debido que, al disponerse de material orgánico, este empieza a incrementar la actividad microbiana y generar calor aumentando la temperatura de cada masa orgánica. Según Andrade (2018) los responsables del aumento de temperatura y, por tanto, de esta primera fase de descomposición son los microorganismos.

Como se evidenció en el gráfico 4.1, los tratamientos  $T_1$  y  $T_2$  mantuvieron una temperatura baja en el proceso de compostaje debido a que, la mayor proporción de subproductos que estos contienen (cascarilla de arroz) es seca, esto se debe a que su estructura es así y, por ende, el metabolismo de los microorganismos no actúa en el incremento de temperatura. En el resto de tratamientos la mayor proporción de sustrato es la cascarilla de yuca y, en comparación con los demás tratamientos se evidencia un aumento de temperatura debido a la humedad que contiene este subproducto haciendo que exista más proliferación de microorganismos y estos a su vez realizaron la degradación haciendo que incremente la temperatura. Ekinci (2004) enfatiza que otro componente es el sistema de compostaje de cada tratamiento, ya que el  $T_1$  (sistema abierto) depende de la adecuación de los demás factores a los intervalos óptimos, como, por ejemplo: el tamaño de la pila, de las condiciones ambientales y del tipo de adición de aire a la pila, en este caso con volteos cada quince días. En el caso del  $T_2$  (sistema cerrado) se evidenció mayor temperatura en comparación con el  $T_1$  debido que, en un sistema tipo reactor donde se genera más temperatura porque su descomposición es anaerobia, es decir, los microorganismos que actúan en el proceso de compostaje son capaces de vivir y desarrollarse en un medio sin oxígeno.

Desde el inicio del proceso de compostaje, en los tratamientos  $T_5$  y  $T_6$  se puede observar gradualmente temperaturas elevadas debido al alto contenido de material orgánico ya que esto hace que se permita la higienización de las deyecciones, eliminando patógenos, semillas de malezas, huevos y larvas de insectos que afectan al proceso de compostaje, dentro de estos tratamientos, los valores más altos oscilaron entre 50,92°C y 53,55°C, intervalos adecuados según lo expuesto por Locke (2017).

En las últimas semanas se evidenció que la temperatura bajó gradualmente a temperatura ambiente en los seis tratamientos fluctuando entre 27,93°C y 23,17°C, cabe recalcar que, las características que presenta un compost maduro son textura granular, color oscuro y olor a tierra de bosque (García, 2016). En referencia a investigaciones de (Borja, 2018), prácticamente todos los tratamientos alcanzaron el grado de madurez ya que estos estaban a temperatura ambiente, se encontraban descompuestos y se notaba un producto estable.

### ● POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH)

En el gráfico 4.2 se evidencia la variación del potencial de hidrógeno (pH) en la fase de compostaje en los seis tratamientos realizados. Como menciona Pérez (2016), el pH de un compost es el valor que indica si el material compostado es ácido, alcalino o neutro. Entonces, el pH constituye uno de los factores más importantes que influye en las reacciones bioquímicas de los microorganismos (Bohórquez, 2019).

Cervantes (2018) señala que el pH es un parámetro importante para el crecimiento de microorganismos, algunas bacterias generalmente crecen a pH bajos (3) y los hongos también se desarrollan a pH bajos (1). Sin embargo, el intervalo óptimo de pH para las bacterias va de 6,0 hasta 8,5 y sólo pocas prefieren pH de 8,5 o mayor.

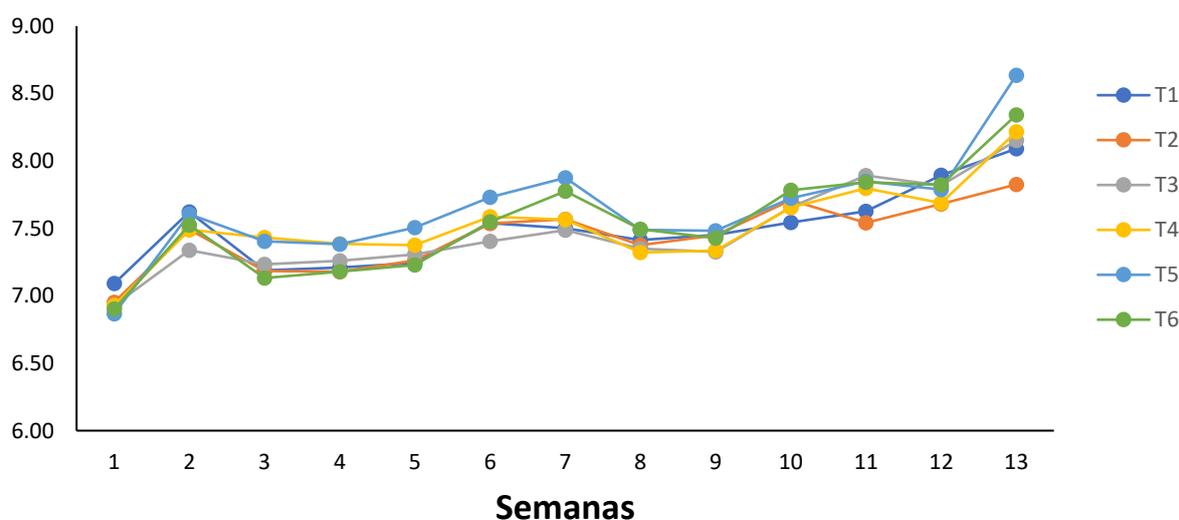


Gráfico 4.2. Comportamiento del pH.

En las primeras cuatro semanas, el pH del compost estuvo en un intervalo de 6,87 a 7,38 lo cual demuestra que poseía valores bajos antes de pasar a la fase termófila debido a la actividad de ácidos orgánicos (Bohórquez, 2019). Desde la quinta semana en adelante se visualiza un aumento de pH debido a la utilización por parte de los microorganismos de los ácidos orgánicos producidos en la primera etapa y por la generación de amoníaco producido por la hidrólisis de las proteínas (López y Sainz, 2018). Los valores de la quinta a la novena semana oscilan entre los 7,23 a 7,45; lo cual demuestra que se encuentra en un intervalo neutro.

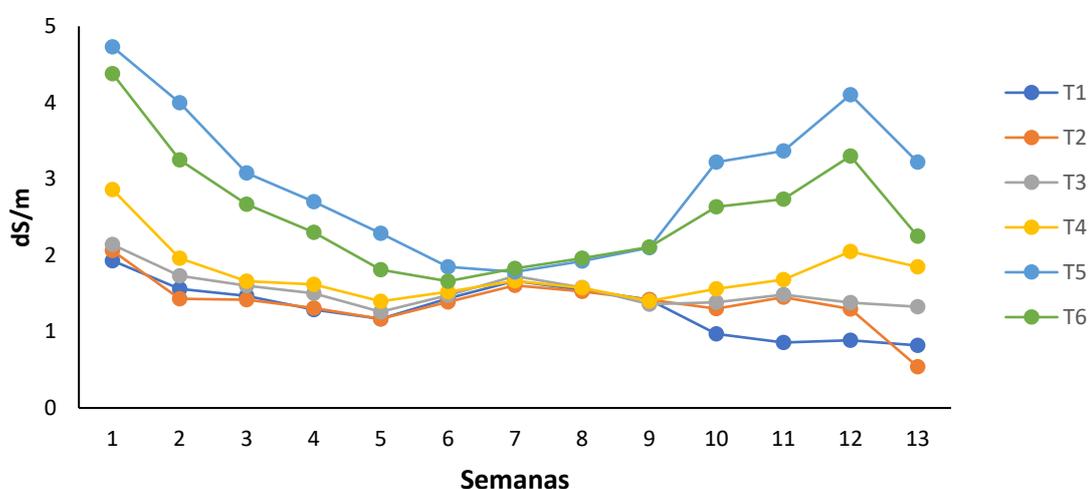
En la última fase se observa un incremento en los valores de pH que oscilaron entre 7,54 a 8,64; por lo que, en investigaciones realizadas por Márquez (2018) se indica que un valor de pH por encima de 7,5 es un indicador de una adecuada descomposición de los residuos orgánicos en el compost.

Como se evidencia en el gráfico 4.2., los primeros valores de pH por cada tratamiento fueron: el T<sub>1</sub> con un valor de 7,09, el T<sub>2</sub> con un valor de 6,95; el T<sub>3</sub> con un valor de 6,93; el T<sub>4</sub> con un valor de 6,93; el T<sub>5</sub> con un valor de 6,87; y el T<sub>6</sub> con un valor de 6,90 respectivamente. A medida que pasaba el tiempo, cada valor de pH iba aumentando con valores altos en cada tratamiento debido a la presencia de bacterias alcalófilas que actuaron en el proceso de descomposición.

Según la normativa chilena NCh2880 el límite permisible para la variable pH emplea valores según la clase, tal es el caso en el compost clase "A" (5 – 7,5) y en el compost clase "B" (7,51 – 8,5). Se denota que la mayoría de los tratamientos cumplen con la normativa en ciertas clases de compost. En el caso del T<sub>1</sub> cumple con una clase de compost (B) ya que el valor de pH del producto final fue de 8,09; el T<sub>2</sub> también cumple con las expectativas de la normativa chilena de compost clase "B" ya que tuvo un valor de 7,83 siendo uno de los tratamientos con valores de pH más neutros, en el caso del T<sub>3</sub> también cumple con lo requerido ya que tuvo un valor de 8,15; el T<sub>4</sub> cumple con la clase de compost tipo "B" ya que tuvo un valor final de 8,22; el T<sub>5</sub> tuvo un valor de 8,64 lo cual sobrepasa un poco con los límites permisibles, en este caso no cumple con lo establecido, mientras que el T<sub>6</sub> solo cumple con el compost clase "B" ya que tuvo un valor de 8,34.

## • CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (CE)

Como indica Siles (2016), la conductividad eléctrica de un compost es la medida de la capacidad de un material para conducir la corriente eléctrica, el valor será más alto cuanto más fácil se mueve la corriente a través del mismo. Esto significa que, a mayor CE, mayor es la concentración de sales. En el gráfico 4.3, se evidencia el comportamiento de la CE a lo largo del proceso de compostaje dando valores diferentes en el inicio de cada tratamiento.



**Gráfico 4.3.** Comportamiento de CE.

En la primera semana todos los tratamientos tuvieron valores altos, por ejemplo: el T<sub>1</sub> tuvo un valor de 1,93 dS/m, el T<sub>2</sub> tuvo un valor de 2,06 dS/m, el T<sub>3</sub> tuvo un valor de 2,14 dS/m, el T<sub>4</sub> obtuvo un valor de 2,86 dS/m, el T<sub>5</sub> tuvo un valor de 4,73 dS/m, y el T<sub>6</sub> tuvo un valor de 4,38 dS/m.

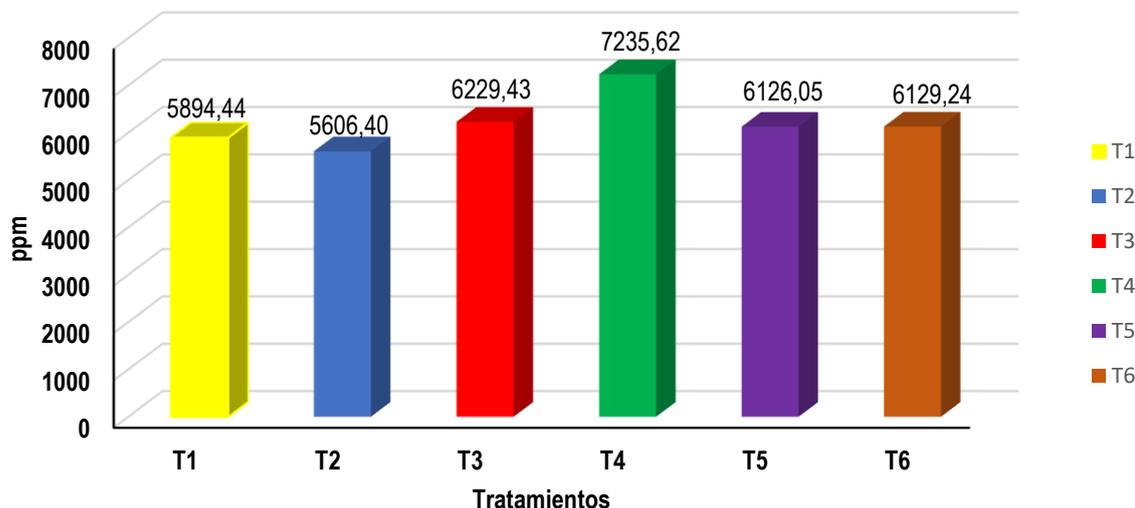
De acuerdo con Pereira (2017) se obtienen valores altos debido a fenómenos de lixiviación del material compostado (disolución de sales), provocados por un riego excesivo de las pilas y los tanques de compostaje. Es normal que a medida que pase el tiempo los valores de CE aumenten y disminuyen gracias a la mineralización de la materia orgánica; con lo cual se incrementa la concentración de nutrientes; y, en consecuencia, la de sales (Siles, 2016). Al finalizar el proceso de compostaje, se obtuvieron valores que oscilaban entre 0,54 dS/m hasta 3,22 dS/m y según la normativa chilena Nch2880 son valores aptos para la clase de compost "A".

## 4.2 ESTABLECIMIENTO LA CALIDAD DEL COMPOST BAJO LA NORMATIVA CHILENA NCh2880

Posterior a la realización del compost, se presenta el análisis estadístico de la composición química mencionada en la metodología, respecto a los seis tratamientos.

### • NITRÓGENO

Todos los tratamientos obtuvieron valores que cumplen con la clase de compost "A" dictaminada por la normativa chilena NCh2880. En la gráfica 4.4, se reflejan los promedios de nitrógeno en ppm del compost final.



**Gráfico 4.4.** Contenido de nitrógeno.

Los resultados según la normativa chilena NCh2880 deben ser expresados en porcentajes, por lo tanto, se llevó a cabo la conversión de ppm o mg/kg a % como se presenta en el cuadro 4.1.

**Cuadro 4.1.** Conversión de ppm o mg/kg a % del nitrógeno.

Tratamientos	A = mg/kg	F.C.	A * F.C. = %	Clase A	Clase B
T <sub>1</sub>	5894,44		0,589	≥0,5	≥0,6
T <sub>2</sub>	5606,39		0,561	≥0,5	≥0,6
T <sub>3</sub>	6229,42	1	0,623	≥0,5	≥0,6
T <sub>4</sub>	7235,62	10000 mg/kg	0,724	≥0,5	≥0,6
T <sub>5</sub>	6126,05		0,613	≥0,5	≥0,6
T <sub>6</sub>	6129,23		0,613	≥0,5	≥0,6

**Fuente:** Los investigadores.

El T<sub>1</sub> tuvo un total de 0,59% de nitrógeno, el T<sub>2</sub> 0,56%, el T<sub>3</sub> de 0,62%, el T<sub>4</sub> tuvo 0,72%, mientras que el T<sub>5</sub> tuvo un nitrógeno total de 0,61% y el último tratamiento obtuvo un valor de 0,61%. Se evidencia que los resultados encontrados superan el mínimo recomendado de nitrógeno (0,5% de nitrógeno total) según la norma chilena Nch2880.

Para Águila (2017) el nitrógeno es de vital importancia en el compost puesto que es el motor del crecimiento de las plantas y está involucrado en todos los procesos de ellas, desde esta perspectiva, el T<sub>3</sub> con un valor de 6229,42 ppm (0,62%) y el T<sub>4</sub> con un valor de 7235,62 ppm (0,72%), concuerdan con investigaciones realizadas por (Zamora, 2017) donde menciona que los intervalos necesarios de presencia de nitrógeno en un compost oscilan entre 0,5% a 2%.

En la variable nitrógeno, el ANOVA indica que existe diferencia significativa en el factor "A" debido que 0,0058 representado por p-valor es menor a 0,05 de la probabilidad de error, por ende, se procede a realizar la prueba de Duncan, mientras que los demás factores y su interacción no presentan significancia.

**Cuadro 4.2.** ANOVA de nitrógeno.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Factor A	2945426,86	2	1472713,43	8,14	0,0058
Factor B	260159,93	1	260159,93	1,44	0,2537
Factor A * Factor B	1382949,57	2	691474,79	3,82	0,0520
Error	2171584,30	12	180965,36		
Total	6760120,66	17			

**Fuente:** Los investigadores.

En la prueba de Duncan se aprecia que hay dos grupos distintos; en el primer grupo está el segundo nivel cuyas proporciones son 50% c. arroz + 50% c. yuca y en el segundo grupo están los niveles primero (75% c. arroz + 25% c. yuca) y tercero (25% c. arroz + 75% c. yuca) que son estadísticamente iguales.

**Cuadro 4.3.** Prueba de Duncan de la variable nitrógeno para el factor "A".

Factor A	Medias	n	E.E.	
(50% c. arroz + 50% c. yuca).	6732,53	6	173,67	A
(25% c. arroz + 75% c. yuca).	6127,65	6	173,67	B
(75% c. arroz + 25% c. yuca).	5750,42	6	173,67	B

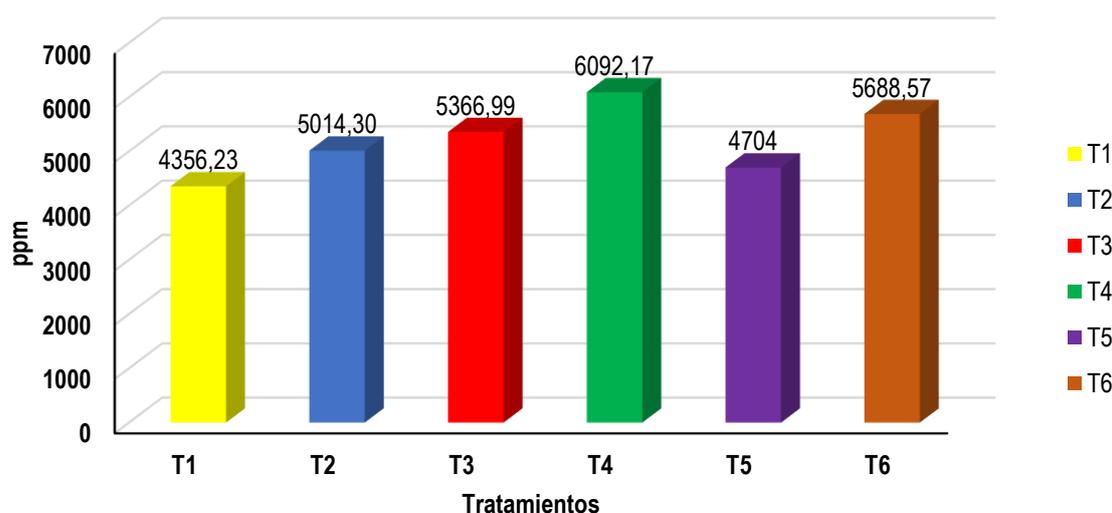
**Fuente:** Los investigadores.

El segundo nivel del factor "A" (50% cascarilla de arroz + 50% cáscara de yuca) tuvo mejor rendimiento que el primer nivel y el tercer nivel, por lo tanto, presentan mayor contenido de nitrógeno, esto indica que, la degradación del material orgánico libera grandes concentraciones de dióxido de carbono, reduce la concentración de carbono e incrementa el porcentaje de nitrógeno del compost (Santos 2017).

## ● FÓSFORO

Como expresa Donald (2017) los microorganismos juegan un papel importante en la transformación del P; puesto que, las bacterias u hongos solubilizan las formas orgánicas de este macronutriente y las transforman a fosfatos asimilables por las plantas, por lo que es esencial en la eficiencia de la fotosíntesis. Cabe mencionar que, la deficiencia de fósforo hará que las plantas luzcan poco apreciables y enfermas por lo que pueden producir flores y frutas de baja calidad (Summer, 2015).

El gráfico 4.5 muestra el contenido general de fósforo (P) en el compost final en los seis tratamientos realizados. La cantidad de fósforo es indispensable para las plantas, con el fin de que pueda ser utilizado como nutriente clave para el desarrollo de ellas (FAO, 2013).



**Gráfico 4.5.** Contenido de fósforo.

Díaz (2015) indica que el fósforo en el proceso de compostaje desempeña un papel fundamental en la formación de compuestos celulares ricos en energía, siendo necesario para el metabolismo microbiano. Se realizó la conversión de ppm o mg/kg a % para la característica P como se observa en el cuadro 4.4. para seguir con la discusión con diferentes investigadores.

**Cuadro 4.4.** Conversión de ppm o mg/kg a % de fósforo.

Tratamientos	A = mg/kg	F.C.	A * F.C. = %	Clase A	Clase B
T <sub>1</sub>	4356,23	$\frac{1}{10000 \text{ mg/kg}}$	0,436	$\geq 0,1$	$\leq 0,1$
T <sub>2</sub>	5014,3		0,501	$\geq 0,1$	$\leq 0,1$
T <sub>3</sub>	5366,99		0,537	$\geq 0,1$	$\leq 0,1$
T <sub>4</sub>	6092,17		0,609	$\geq 0,1$	$\leq 0,1$
T <sub>5</sub>	4704		0,470	$\geq 0,1$	$\leq 0,1$
T <sub>6</sub>	5688,57		0,569	$\geq 0,1$	$\leq 0,1$

**Fuente:** Los investigadores.

Los valores de P tienen un intervalo entre 0,44% a 0,61% respectivamente, son porcentajes que coinciden con investigaciones realizadas por Huamán (2019) donde menciona que el macronutriente fósforo debe ser igual o superior a 0,40% en su contenido, si bien todos los tratamientos cumplen con lo requerido y son adecuados para la utilización del compost en las plantas.

**Cuadro 4.5.** ANOVA de fósforo.

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>Factor A</b>	3272277,63	2	1636138,82	2,89	0,0946
<b>Factor B</b>	2803254,21	1	2803254,21	4,95	0,0461
<b>Factor A * Factor B</b>	89193,31	2	44596,65	0,08	0,9248
<b>Error</b>	6797263,01	12	566438,58		
<b>Total</b>	12961988,16	17			

**Fuente:** Los investigadores.

El ANOVA de la variable P sí presenta diferencia significativa en el factor “B” porque el p-valor (0,0461) es menor a 0,05 de probabilidad de error, por lo que se infiere que, al emplear la técnica de los tanques, se obtendrá mejores resultados de fósforo en comparación a la técnica de las pilas.

**Cuadro 4.6.** Prueba de Duncan del Factor B en el fósforo.

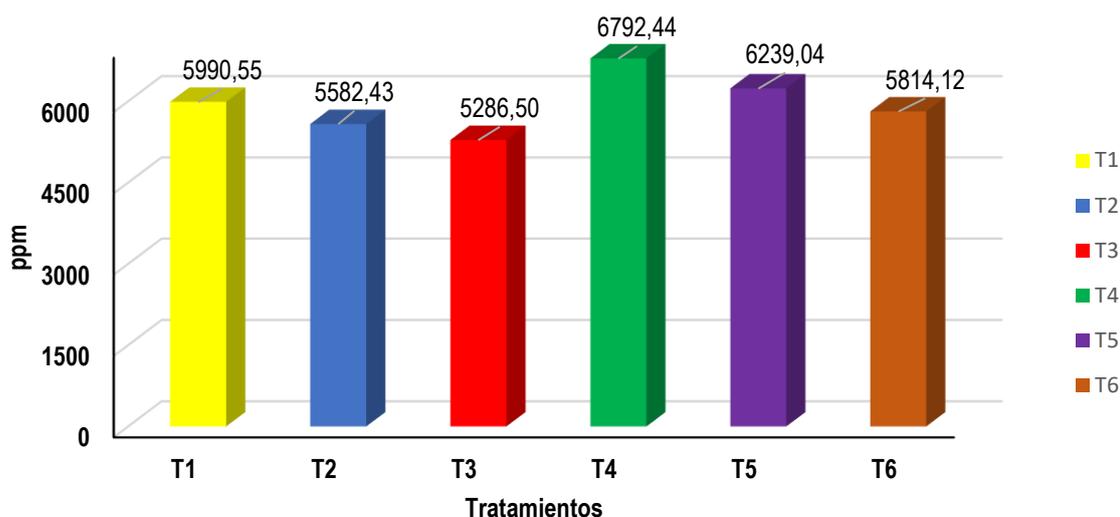
<b>Factor B</b>	<b>Medias</b>	<b>n</b>	<b>E.E.</b>	
Tanque	5598,34	9	250,87	A
Pila	4809,08	9	250,87	B

**Fuente:** Los investigadores.

El cuadro 4.6, muestra la prueba múltiple de Duncan al 5% de error, se observa que la variable P tuvo mejor rendimiento en la técnica de compostaje de sistema cerrado, en este caso, los tratamientos que se emplearon en reactores (tanques) tuvieron mejores respuestas que la técnica de sistema abierto (pilas) ponderándolos en la categoría “A”.

### ● **POTASIO**

Sánchez (2017) postula que el potasio juega un papel vital en la síntesis de carbohidratos, proteínas y en la estructura de la planta. En la gráfica 4.6 se evidencia el resultado final del contenido de potasio (K) en cada uno de los tratamientos sobrepasando los 5000 ppm de concentración.



**Gráfico 4.6.** Contenido de potasio.

Cuando hay una buena cantidad de potasio, este posibilita que las raíces y los tallos sean fuertes y las semillas, los frutos y las hojas sean grandes (Iza, 2017). En el cuadro 4.6 se muestra la conversión de K en ppm a % donde los promedios fluctúan entre 0,56% a 0,68%.

**Cuadro 4.7.** Conversión de ppm o mg/kg a % de potasio.

Tratamientos	A = mg/kg	F.C.	A * F.C. = %
T <sub>1</sub>	5990,55	$\frac{1}{10000 \text{ mg/kg}}$	0,599
T <sub>2</sub>	5582,43		0,558
T <sub>3</sub>	5286,5		0,529
T <sub>4</sub>	6792,44		0,679
T <sub>5</sub>	6239,04		0,624
T <sub>6</sub>	5814,12		0,581

**Fuente:** Los investigadores.

Lastimosamente en la normativa chilena no hay un intervalo específico que dictamine el valor pertinente para el potasio, pero, cabe recalcar que, en el R.D. 506/2013 (Real Decreto 506/2013 España) los valores habituales de concentración de potasio oscilan entre 0,5% a 1,3% por lo cual cada uno de los tratamientos cumplen con lo requerido.

**Cuadro 4.8.** ANOVA de potasio.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
<b>Factor A</b>	243624,83	2	121812,41	0,44	0,6512
<b>Factor B</b>	226388,23	1	226388,23	0,83	0,3813
<b>Factor A * Factor B</b>	3696051,32	2	1848025,66	6,74	0,0109
<b>Error</b>	3287982,03	12	273998,50		
<b>Total</b>	7454046,40	17			

**Fuente:** Los investigadores.

Se realizó el ANOVA de la variable K y se puede observar que sí presenta diferencias significativas en la interacción de los factores A\*B, puesto que, el p-valor (0,0109) es menor a 0,05 de probabilidad de error, por lo consiguiente, se realizó la prueba de Duncan para la interacción entre los factores.

**Cuadro 4.9.** Prueba de Duncan de la interacción de la variable potasio.

Factor A	Factor B	Medias	n	E.E.	
(T <sub>4</sub> ) 50% c. arroz + 50% c. yuca.	Tanque	6792,44	3	302,21	A
(T <sub>5</sub> ) 25% c. arroz + 75% c. yuca.	Pila	6239,04	3	302,21	A B
(T <sub>1</sub> ) 75% c. arroz + 25% c. yuca.	Pila	5990,55	3	302,21	A B
(T <sub>6</sub> ) 25% c. arroz + 75% c. yuca.	Tanque	5814,12	3	302,21	A B
(T <sub>2</sub> ) 75% c. arroz + 25% c. yuca.	Tanque	5582,42	3	302,21	B
(T <sub>3</sub> ) 50% c. arroz + 50% c. yuca.	Pila	5286,50	3	302,21	B

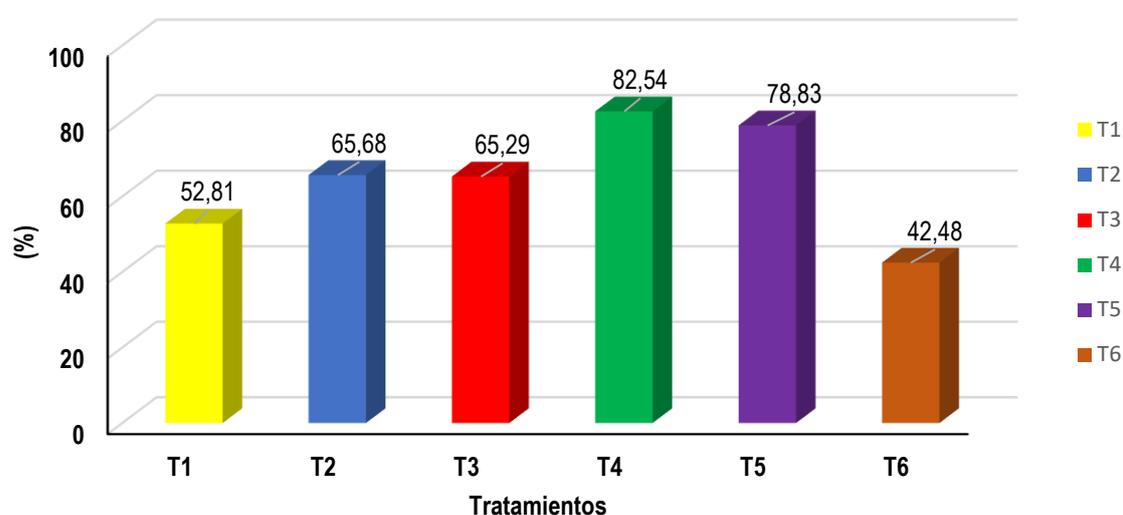
**Fuente:** Los investigadores.

En el cuadro 4.9 se evidencian tres grupos diferentes, donde el T<sub>4</sub> presentó valores de significancia al poseer mayor cantidad de potasio (6792,44 ppm) entre los demás tratamientos. Mientras que en los tratamientos T<sub>5</sub> - T<sub>1</sub> - T<sub>6</sub> se deduce que la aplicación general de los residuos contribuye la misma cantidad de K al compost. De la misma forma, los tratamientos T<sub>2</sub> y T<sub>3</sub> son estadísticamente iguales. Los resultados obtenidos concuerdan con (Cajamarca, 2012) donde manifiesta que un compost bien realizado presenta porcentajes de potasio entre 0,55% a 1,5% y a su vez esto mejora las cualidades organolépticas de las plantas y mejora la resistencia ante agentes patógenos.

#### ● MATERIA ORGÁNICA (MO)

Márquez (2017) argumenta que la velocidad de transformación de MO depende de los microorganismos que intervienen y de las condiciones fisicoquímicas del proceso.

Cuando hay sustratos orgánicos (subproductos agrícolas de arroz y yuca), hay MO en el proceso de compostaje y los microorganismos se alimentan, se multiplican y mejoran la aireación, porosidad y estructura del suelo superficial que es donde hay acciones biológicas como la descomposición de MO y se desarrollan raíces secundarias de las plantas (Ortega, 2017). Los valores obtenidos en la materia orgánica oscilaron entre 42,48% a 82,54% respectivamente, dichos valores concuerdan con Céspedes (2017) puesto que, la MO de un compost tiende a tener valores finales del 40% en adelante.



**Gráfico 4.7.** Contenido de Materia Orgánica.

El cuadro 4.10, muestra que en el ANOVA existe diferencia significativa entre la interacción de los factores A\*B para la variable MO, debido que el p-valor obtenido (0,0293) es menor a 0,05.

**Cuadro 4.10.** ANOVA de MO.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
<b>Factor A</b>	786,31	2	393,16	1,42	0,2790
<b>Factor B</b>	19,41	1	19,41	0,07	0,7955
<b>Factor A * Factor B</b>	2656,93	2	1328,46	4,81	0,0293
<b>Error</b>	3316,63	12	276,39		
<b>Total</b>	6779,28	17			

**Fuente:** Los investigadores.

En investigaciones realizadas por Ramírez (2018) la materia orgánica en un compost final oscila entre 30% a 85%, si bien los resultados obtenidos tienen un intervalo de 42,48% a 82,54%; cumplen con lo establecido en la composición de materia orgánica en un compost final.

**Cuadro 4.11.** Prueba de Duncan en la interacción de MO.

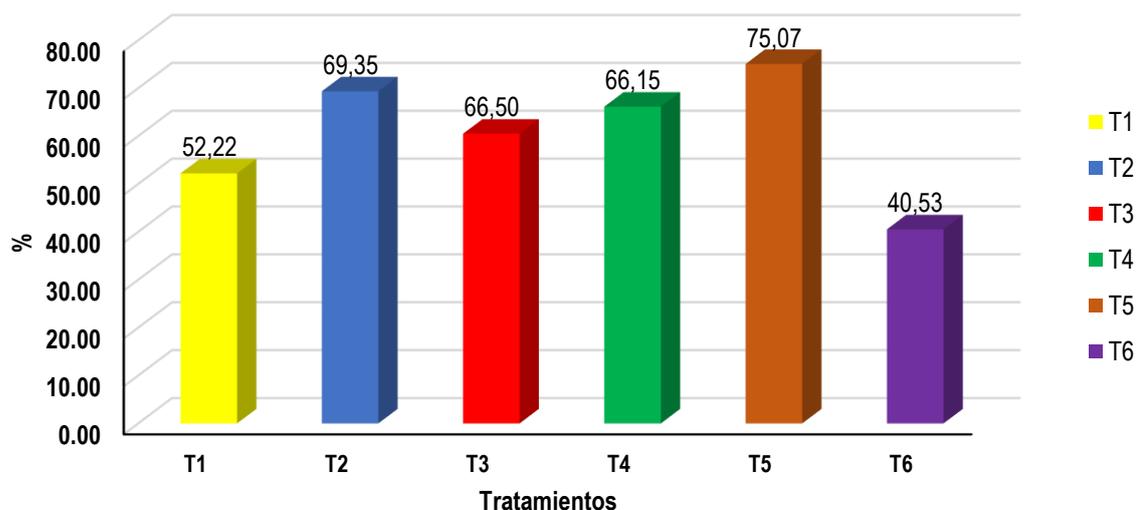
Factor A	Factor B	Medias	n	E.E.	
(T <sub>4</sub> ) 50% c. arroz + 50% c. yuca.	Tanque	82,54	3	9,60	A
(T <sub>5</sub> ) 25% c. arroz + 75% c. yuca.	Pila	78,83	3	9,60	A
(T <sub>2</sub> ) 75% c. arroz + 25% c. yuca.	Tanque	65,68	3	9,60	A B
(T <sub>3</sub> ) 50% c. arroz + 50% c. yuca.	Pila	65,29	3	9,60	A B
(T <sub>1</sub> ) 75% c. arroz + 25% c. yuca.	Pila	52,81	3	9,60	A B
(T <sub>6</sub> ) 25% c. arroz + 75% c. yuca.	Tanque	42,48	3	9,60	B

**Fuente:** Los investigadores.

El cuadro 4.11., muestra la prueba múltiple de medias de Duncan de la interacción de los factores A\*B, exactamente hay tres grupos distintos. El T<sub>4</sub> y el T<sub>5</sub> pertenecen a un solo grupo homogéneo por poseer valores altos de MO (82,54% - 78,83%), siguiendo lo que dictamina la normativa chilena, ambos tratamientos pueden ser catalogados como compost clase "A" debido que sobrepasa el valor permitido ( $\geq 45\%$ ). Los tratamientos T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub> y T<sub>1</sub> pertenecen a otro grupo similar, por lo que, son estadísticamente iguales; es decir, cada uno de ellos aportan la misma cantidad de MO.

#### ● RELACIÓN CARBONO/NITRÓGENO (C/N)

Como lo menciona el Manual de Compostaje de la FAO (2013), la relación C/N es un factor especial e importante en el proceso de compostaje de residuos agrícolas, ya que afecta el crecimiento y la reproducción de los microorganismos según los subproductos utilizados (cascarilla de arroz y cáscara de yuca), la normativa chilena NCh2880 indica que el intervalo de porcentaje de esta variable debe oscilar entre 10% a 45% para el compost clase "A" y 45,1% a 70% en clase "B". Los valores resultantes de relación C/N tuvieron un intervalo de 40,53% a 75,07%, dichos valores concuerdan con Romero (2018) quien menciona que los porcentajes óptimos al obtener el producto final del compost están alrededor del 34% en adelante.



**Gráfico 4.8.** Contenido de Relación C/N.

En el gráfico 4.8., se evidencia el promedio de la relación C/N de los tratamientos. De acuerdo a los resultados, los valores tienen un intervalo de 40,53% a 75,07% respectivamente, por lo consiguiente, todos los tratamientos cumplen al menos con una clase de compost.

**Cuadro 4.12.** ANOVA de relación carbono/nitrógeno.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Factor A	91,72	2	45,86	0,17	0,8494
Factor B	68,95	1	68,95	0,25	0,6270
Factor A * Factor B	2208,31	2	1104,16	3,98	0,0471
Error	3326,28	12	277,19		
Total	5695,27	17			

**Fuente:** Los investigadores.

El ANOVA realizado en el cuadro 4.12., presenta que en la interacción de los factores A\*B hay diferencia significativa debido que el p-valor es de 0,0471 siendo menor a 0,05 de probabilidad de error, por lo cual, se concluye que sí existen diferencias significativas.

**Cuadro 4.13.** Prueba de Duncan de la interacción de C/N.

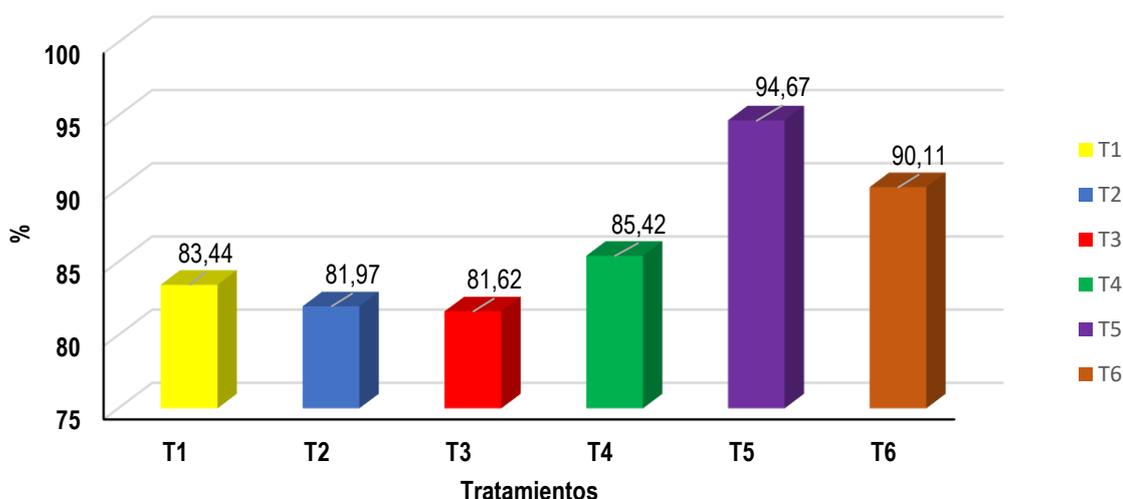
Factor A	Factor B	Medias	n	E.E.		
(T <sub>6</sub> ) 25% c. arroz + 75% c. yuca.	Tanque	40,53	3	9,61	A	
(T <sub>1</sub> ) 75% c. arroz + 25% c. yuca.	Pila	52,22	3	9,61	A	B
(T <sub>3</sub> ) 50% c. arroz + 50% c. yuca.	Pila	60,50	3	9,61	A	B
(T <sub>4</sub> ) 50% c. arroz + 50% c. yuca.	Tanque	66,15	3	9,61	A	B
(T <sub>2</sub> ) 75% c. arroz + 25% c. yuca.	Tanque	69,35	3	9,61	A	B
(T <sub>5</sub> ) 25% c. arroz + 75% c. yuca.	Pila	75,07	3	9,61		B

**Fuente:** Los investigadores.

El cuadro 4.13., muestra la prueba múltiple de medias de la variable C/N donde se evidencia que existen tres grupos diferentes, en los tratamientos (T<sub>1</sub> - T<sub>2</sub> - T<sub>3</sub> y T<sub>4</sub>) se los pueden considerar como un compost clase "B" ya que se encuentran en el intervalo de 46% a 70% y también producen el mismo contenido de relación C/N en función a sus interacciones; mientras que el T<sub>6</sub> (40,53%) cumple con el requisito del compost clase "A" debido a que se encuentra en el intervalo de 10% a 45%. El T<sub>5</sub> no cumple con ninguna clase de compost dictaminada por la normativa chilena Nch2880 ya que sobrepasa los límites.

- **MEDICIÓN DEL ESTADO DE MADUREZ O ÍNDICE DE GERMINACIÓN (IG)**

El gráfico 4.9, muestra que los tratamientos superan el 80% del estado de madurez, lo que evidencia que no existe una elevada concentración de sustancias fitotóxicas en el compost elaborado. El tratamiento que mayor índice de germinación obtuvo fue el T<sub>5</sub> con un 94,67% de eficiencia, lo cual indica que, el compost está suficientemente maduro y listo para usarlo como sustrato.



**Gráfico 4.9.** Índice de toxicidad del compost por el método de % de germinación.

Cabe destacar que el T<sub>4</sub> obtuvo un valor de 90,11%; según la normativa Nch2880 para que exista un buen compost, los porcentajes del índice de germinación deben de ser iguales o superiores a 90%, por lo cual, los últimos tratamientos (T<sub>5</sub> y T<sub>6</sub>) cumplen con la normativa.

Se deduce que al existir mayoritariamente material orgánico en ambos tratamientos (75% cáscara de yuca + 25% cascarilla de arroz) y un buen tiempo de descomposición, existe una simbiosis entre los microorganismos y las plantas, es decir, los microorganismos actúan en la germinación de las plantas debido a su rápido crecimiento y la habilidad que presentan al utilizar un amplio intervalo de nutrientes como fuentes de carbono o nitrógeno.

Jara (2018) menciona que, los factores físicos y la actividad microbiana en la rizosfera dependen del sustrato y de la calidad de las semillas, es por eso que, los

microorganismos en asociación con las raíces forman comunidades únicas que tienen considerable potencial para la detoxificación de compuestos orgánicos nocivos, por ende, ambos tratamientos tuvieron mayor eficacia en la germinación de las plantas.

**Cuadro 4.14** ANOVA de índice de germinación.

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>Factor A</b>	346,28	2	173,14	1,12	0,3578
<b>Factor B</b>	2,49	1	2,49	0,02	0,9011
<b>Factor A*Factor B</b>	53,61	2	26,80	0,17	0,8427
<b>Error</b>	1853,11	12	154,43		
<b>Total</b>	2255,49	17			

**Fuente:** Los investigadores.

El cuadro 4.14., muestra el ANOVA del IG en los factores A, B y su interacción. No se aprecia diferencia significativa entre los tratamientos, puesto que, los valores de p-valor son mayores a 0,05 de probabilidad de error; esto se debe a las condiciones ambientales que estuvieron presentes en la germinación de las semillas, como, por ejemplo: humedad, temperatura, exposición y horas de luz. En vista que, no se presentaron valores de significancia, no fue necesario realizar la prueba múltiple de Duncan.

En investigaciones realizadas por Valdivia (2016) se evidenció que, dentro del grupo de semillas, si el 80% predomina en cada tratamiento es válido porque la germinación tuvo el potencial de generar embriones sanos y vigorosos, esto a su vez radica que las semillas empleadas fueron de buena calidad y certificadas por el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). Siendo así, se evidencia que desde el T<sub>1</sub> al T<sub>4</sub> hubo valores que superaron el 80% de germinación.

#### 4.2.1 GENERALIDADES DE LOS RESULTADOS

Con el fin de generalizar los resultados obtenidos de las muestras de laboratorio, se realizó el cuadro 4.15, que contiene los valores resultantes de la característica N con sus respectivas categorías para los niveles del factor “A”.

**Cuadro 4.15.** Resultados de las muestras del laboratorio de la variable N para el factor “A”.

Niveles	Porcentajes	Medias
a <sub>2</sub>	50% cascarilla de arroz + 50% cáscara de yuca	6732,53 a
a <sub>3</sub>	25% cascarilla de arroz +75% cáscara de yuca	6127,65 b
a <sub>1</sub>	75% cascarilla de arroz + 25% cáscara de yuca	5750,42 b

**Fuente:** Laboratorio de la ESPE y Laboratorio de suelos de ESPAM MFL.

El cuadro 4.15, muestra los resultados dados por la Universidad de las Fuerzas Armadas del Ecuador (N) apreciándose que, dicha variable tuvo significancia en los niveles del factor “A”, o sea, en los porcentajes empleados para cada tratamiento; mientras que, no tuvo significancia en el factor “B” ni sus interacciones. Los parámetros de P, K, MO y C/N no presentaron diferencias significativas para el factor “A”. La variable N genera un efecto contrario, específicamente en el nivel a<sub>2</sub> (50% cascarilla de arroz + 50% cáscara de yuca) donde tuvo significancia entre el resto de niveles y los sustratos investigados generaron un resultado positivo en la característica nitrógeno.

**Cuadro 4.16.** Resultados de las muestras del laboratorio de la variable P para el factor “B”.

Niveles	Preparación	Medias
b <sub>2</sub>	Tanque	5598,34 a
b <sub>1</sub>	Pila	4809,08 b

**Fuente:** Laboratorio de la ESPE y Laboratorio de suelos de ESPAM MFL.

En el factor “B” solo hubo diferencia significativa para la variable P. Como se puede apreciar en el cuadro 4.16., la preparación en las que se empleó la técnica de sistemas cerrados (tanques) tuvieron mejores resultados en el contenido de fósforo en comparación con la técnica de sistemas abiertos (pilas). Entonces, los residuos compostados en tanques generaron un efecto positivo en dependencia a la característica P.

**Cuadro 4.17.** Resultados de las muestras del laboratorio de K, MO y C/N para sus interacciones.

Tratamientos	N (ppm)	P (ppm)	K (ppm)	M.O. (%)	C/N (%)
T <sub>1</sub>	5894,44	4356,23	5990,55 ab	52,81 ab	52,22 ab
T <sub>2</sub>	5606,4	5014,3	5582,43 b	65,68 ab	69,35 ab
T <sub>3</sub>	6229,43	5366,99	5286,5 b	65,29 ab	66,5 ab
T <sub>4</sub>	7235,62	6092,17	6792,44 a	82,54 a	66,15 ab
T <sub>5</sub>	6126,05	4704	6239,04 ab	78,83 a	75,07 b
T <sub>6</sub>	6129,24	5688,57	5814,12 ab	31,48 b	40,53 a

**Fuente:** Laboratorio de la ESPE y Laboratorio de suelos de ESPAM MFL.

El cuadro 4.17., muestra los resultados de las variables de K, M.O. y de la relación C/N según la interacción de los factores A\*B, apreciándose que en el potasio sí hubo diferencias significativas, teniendo su mejor rendimiento en el T<sub>4</sub> (50% cascarilla de arroz + 50% cáscara de yuca en tanque) con un valor de 6792,44 ppm. En la característica M.O., sí hubo diferencia significativa entre los tratamientos, el T<sub>4</sub> tuvo un valor de 82,54% y fue el mejor de todos ante su variable de respuesta. La relación C/N sí tuvo diferencias significativas en su interacción en los tratamientos T<sub>5</sub> y T<sub>6</sub> con valores de 75,07% y 40,53% mientras que el resto de corridas experimentales son estadísticamente iguales.

#### 4.2.2 COMPROBACIÓN DE LA HIPÓTESIS

A partir de los valores resultantes en los parámetros fisicoquímicos, se realizó la comprobación de hipótesis en donde hace referencia que el tratamiento que contiene 50% cascarilla de arroz + 50% cáscara de yuca compostados en un contenedor cumplirá los límites permisibles que declara la normativa chilena Nch2880. El cuadro 4.18., muestra los resultados de todos los tratamientos comparados con la normativa.

**Cuadro 4.18.** Análisis de los resultados bajo la normativa chilena Nch2880.

Parámetros	Tratamientos						Límite		Cumplimiento	
	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	Clase A	Clase B	Clase A	Clase B
pH	8,09	7,82	8,15	8,21	8,63	8,34	5,0 - 7,5	7,51 - 8,5	NC	C
C.E. (dS/m)	0,82	0,54	1,32	1,84	3,22	2,24	< 3	< 8	C	C
M.O. (%)	52,81	68,68	65,29	82,54 a	78,82	42,48	≥ 45	≥ 25	C	C
C/N (%)	52,22	69,35	66,50	66,15ab	75,05	40,53	10 - 45	45,1 - 70	NC	C
N (%)	0,59	0,56	0,62	0,72 a	0,61	0,61	≥ 0,5	≥ 0,6	C	C
P (%)	0,44	0,5	0,54	0,61 a	0,47	0,57	≥ 0,1	≤ 0,1	C	NC
K (%)	0,6	0,56	0,53	0,68 a	0,62	0,58	-	-	-	-
Toxicidad (%)	83,44	81,97	81,62	85,42	94,67	90,11	> 90	> 90	C	C

**Fuente:** Los investigadores. **Observación:** NC (No Cumple) – C (Cumple).

De acuerdo a los resultados reflejados en el cuadro 4.18., se verificó que los análisis fisicoquímicos están tipificados como clase “B” debido que la mayoría de las variables estudiadas cumplen con los requisitos que dictamina la norma chilena Nch2880, es decir, el compost tipo “B” es un producto de calidad media que permite utilizarse en cultivos de plantas debido a su contenido nutricional en parámetros como NPK y para su respectiva comercialización.

El tratamiento cuyos sustratos implican el 50% de cascarilla de arroz y 50% cáscara de yuca en un sistema cerrado (tanque) es el T<sub>4</sub> y obtuvo buenos resultados en la mayoría de sus características. En el caso del pH, el promedio final fue de 8,21 y respecto con la normativa sí cumple como compost clase “B” debido que está dentro del intervalo, por lo tanto, obtuvo un buen resultado.

El promedio final de la CE fue de 1,84 dS/m y cumple con los valores estipulados en vista que no sobrepasa el límite permisible, se lo considera como compost clase “A”. La materia orgánica logró tener un porcentaje del 82,54%, valor que es aceptable en virtud que ocurrió un proceso muy bueno y acelerado de descomposición orgánica. Cabe mencionar que, el resultado del T<sub>4</sub> de M.O. puede ser tipificado como compost clase “A”, o sea, de buena calidad. La relación C/N tuvo un valor del 66,15% y según la norma chilena con ese resultado pertenece al compost clase “B” debido que se encuentra en el intervalo de 45,1% a 70%.

En lo que respecta a la característica nitrógeno (N), el T<sub>4</sub> tuvo la mejor categoría por tener diferencia significativa ante el resto de tratamientos y cumple con las dos clases de compost según la norma chilena puesto que obtuvo un valor del 0,72%. Asimismo, el parámetro fósforo (P) tuvo buena respuesta ante el cumplimiento de la normativa porque su porcentaje fue de 0,61% y solo cumple los requisitos del compost clase "A" por el simple hecho de sobrepasar el valor ideal que es  $\geq 0,1\%$ . En el caso del potasio (K) no existe un requisito específico que permita evaluar las cantidades de K permisibles en un compost, sin embargo, en investigaciones realizadas por Castillo (2017) afirma que, un buen compost posee valores que oscilan entre 0,5% a 1,3%; por lo que se asume que el T<sub>4</sub> sí presentó un valor destacado (0,68%).

El índice de toxicidad fue el único parámetro que no superó las expectativas de la normativa chilena, porque su valor fue inferior (85,42%) y no cumple con ninguna clase de compost, no obstante, los tratamientos T<sub>5</sub> y T<sub>6</sub> que sí obtuvieron valores mayores al 90% respectivamente.

Mediante los resultados obtenidos se comprobó que la hipótesis planteada en la investigación de que, el tratamiento cuya combinación involucra el 50% de ambos subproductos (arroz y yuca) preparado en un sistema de tanque tendrá mejores resultados en los parámetros fisicoquímicos del compost contemplado en la normativa chilena Nch2880 es aceptada, puesto que, en la mayoría de parámetros evaluados sí cumplen con lo que dictamina la normativa, aunque en el parámetro de toxicidad no cumple con lo requerido, es por ello que, la aplicación de la prueba estadística de Duncan al 5% y ANOVA fueron de suma importancia para determinar aquello.

# CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## 5.1 CONCLUSIONES

- Hubo diferencias significativas en la interacción de los factores A\*B de las variables K, MO y relación C/N donde el T<sub>4</sub> obtuvo valores de significancia, en la relación C/N tuvo diferencias significativas en el T<sub>6</sub> dando valores de 40,53%. El N tuvo diferencia significativa en el factor “A” para los tratamientos cuya proporción es de 50% cascarilla de arroz + 50% cáscara de yuca y la variable P tuvo diferencia significativa en el factor B, es decir, todos los tratamientos cuyos sustratos fueron compostados en tanque tuvieron mejor respuesta que las pilas de compostaje.
- La mezcla entre el 50% cascarilla de arroz y el 50% cáscara de yuca en un sistema cerrado tipo reactor ejerció una importante respuesta ante las variables fisicoquímicas del compost, puesto que, de forma general el T<sub>4</sub> fue el de mejor provecho ante las variables potasio y MO debido que presentó diferencia significativa con la prueba de Duncan al 5% de probabilidad de error entre los demás tratamientos evaluados y analizados. En el caso del índice de toxicidad, el T<sub>4</sub> presentó valores mayores al 80%.
- Se estableció que el compost obtenido como resultado final en los tratamientos es clasificado como compost clase “B” según la normativa chilena Nch2880 puesto que, presentaron buenos valores en los parámetros fisicoquímicos.

## 5.2 RECOMENDACIONES

- Picar entre 1 cm a 2 cm o moler los subproductos a compostar ya que, estando en ese estado será más fácil y rápida la degradación de los componentes asegurando un producto final y de buena calidad. Se recomienda compostar durante 90 días la mezcla de cascarilla de arroz y cáscara de yuca, puesto que, gracias a las propiedades fisicoquímicas que estas poseen se obtiene un abono orgánico maduro.
- Adicionar elementos agropecuarios orgánicos, como, por ejemplo, estiércoles debido a su alto contenido de N y MO, ya que, cuando se composta este tipo de material, se eliminan sustancias fitotóxicas, virus, bacterias u hongos y mejora la estructura fisicoquímica de suelos para uso de cultivos.
- Investigar sobre la combinación 50% cascarilla de arroz y 50% cáscara de yuca en un sistema tipo reactor para su respectiva aplicación en diferentes ramas agroecológicas y también para ver su contribución en el ciclo de vida en plantas.
- Realizar a lo posterior un manual de compost casero para las familias que dependen de la agricultura y cuentan con la materia prima para realizar este compost orientado a la economía circular, incluyendo las ventajas y técnicas de su elaboración.

## BIBLIOGRAFÍA

- Abril, T. (2019). Los nutrientes de la composta. Bogotá, CO. Recuperado de <https://compostaindustrial.wordpress.com/2014/02/28/los-nutrientes-de-la-composta/>
- Águila, K. (2017). INIA: Compostera básica para el hogar. Punta Arenas, Cl.: Editorial Angamos. Recuperado de <http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/informativos/NR40965.pdf>
- Aguirre, T. (2019). Elaboración de composts enriquecidos en potasio usando minerales como la mica. Recuperado de <http://www.compostandociencia.com/2018/05/elaboracion-composts-enriquecidos-en-potasio-con-minerales-como-la-mica/>
- Albis, A. (2017). Remoción de Cromo Hexavalente de Soluciones Acuósas usando Cáscara de yuca (Manihot esculenta): Experimentos en Columna. *INGE CUC*, 13(1), 42-52. Doi: <http://dx.doi.org/10.17981/ingecuc.13.1.2017.04>
- Álvarez, D. (2018). Illionis.eduMyfirstgarden: Mi primer jardín. Santiago, Cl.: Editorial Adaluz. Recuperado de [https://web.extension.illinois.edu/firstgarden\\_sp/basics/feedme\\_03.cfm](https://web.extension.illinois.edu/firstgarden_sp/basics/feedme_03.cfm)
- Andrade, K. (2018). Jardín Botánico de Sóller: Control de la temperatura, la humedad y la ventilación. Lima, PE. (En línea). Formato HTML. Obtenido de [http://www.jardibotanicdesoller.org/es/jbs.php/horticultura\\_y\\_jardineria/como\\_hacer\\_compost/control](http://www.jardibotanicdesoller.org/es/jbs.php/horticultura_y_jardineria/como_hacer_compost/control)
- Benimeli, M. (2019). Las reacciones del fósforo en el suelo. Ciudad de México, MX. Recuperado de <https://www.smart-fertilizer.com/es/articulos/phosphorus/>
- Bertoldi, J. (2016). Junta de Andalucía.es: Sistemas y técnicas para el compostaje. Bogotá, CO.: El Editorial. Recuperado de [https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/sistemas\\_y\\_tecnicas\\_para\\_el\\_compostaje.pdf](https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/sistemas_y_tecnicas_para_el_compostaje.pdf)

- Bohórquez, A; Puentes, y Menjívar, J. (2014). Evaluación de la calidad del compost producido a partir de subproductos agroindustriales de caña de azúcar. Co. *Rev. Corpoica Cienc. Tecnol. Agropecu.* 15(1), 73-81
- Bohórquez, H. (2019). El proceso de compostaje. Universidad de La Salle. Recuperado de <https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1071&context=libros>
- Bono, G. (29 de noviembre de 2009). Un proyecto con la cascarilla de arroz ayuda al ambiente. *El Universo*. Recuperado de <https://www.eluniverso.com/2009/11/29/1/1430/un-proyecto-cascarilla-arroz-ayuda-ambiente.html>
- Borja, V. (21 de junio de 2018). ¿Qué es el compostaje? ¿Qué es el compost? *Compostedia*. En línea. Recuperado de [http://compostaenred.org/Compostpedia/index.php/%C2%BFQu%C3%A9\\_es\\_el\\_compost%3F](http://compostaenred.org/Compostpedia/index.php/%C2%BFQu%C3%A9_es_el_compost%3F)
- Brandenberger, L; Bowser, T; Zhang, H; Carrier, y Payton, M. (2016). Evaluation of Testing Kits for Routine Soil Analyses. Statistics, Oklahoma State University, Stillwater. *Revista Discourse Journal of Agriculture and Food Sciences.* 4(1), 1-10
- Cabrera, V y Rossi, M. (2016). Propuesta para la elaboración de compost a partir de los residuos vegetales provenientes del mantenimiento de las áreas verdes públicas del distrito de Miraflores. Lima-Perú. (En línea). Formato PDF. Obtenido de: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/2251/Q70-C32-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cajamarca, D. (2012). Procedimientos para la elaboración de abonos orgánicos. Cuenca-Ecuador. (en línea). Formato PDF. Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/3277/1/TESIS.pdf>

- Calderón, N. (2018). Boletín agrario: Subproductos. Lima, PE. Recuperado de <https://boletinagrario.com/ap-6,subproducto,953.html>
- Comisión para la Cooperación Ambiental [CCA] (2014). La quema de residuos agrícolas: fuente de dioxinas, Comisión para la Cooperación Ambiental, Montreal, Canadá.
- Campos, R. (2016). Evaluación técnica de dos métodos de compostaje para el tratamiento de residuos sólidos biodegradables domiciliarios y su uso en huertas caseras. San José, CR. Recuperado de <file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/Dialnet-EvaluacionTecnicaDeDosMetodosDeCompostajeParaEITra-5761473.pdf>
- Castillo, A. (2017). Caracterización química y física de compost de lombrices elaborados a partir de residuos orgánicos puros y combinados. Corrientes, AR. Recuperado de [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0365-28072000000100008&lng=es&nrm=iso&tlng=es](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0365-28072000000100008&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- Cazares, M. (04 de abril de 2017). Compostadores. El compost, temperatura y humedad. Barquisimeto, VE. Recuperado de <http://www.compostadores.com/descubre-el-compostaje/compostar-hacer-compost/147-el-compost-temperatura-y-humedad.html#:~:text=El%20compostaje%20es%20un%20proceso,los%2065%2D70%C2%B0C>.
- Céspedes, C. (05 de junio de 2017). Red Agrícola. Materia orgánica y compost: De desecho orgánico a herramienta agronómica de sustentabilidad Simposio de la International Society for Horticultural Science. Lima, PE. Recuperado de <https://www.redagricola.com/cl/materia-organica-compost-desecho-organico-herramienta-agronomica-sustentabilidad-simposio-la-international-society-for-horticultural-science/>
- Chávez, A. y Rodríguez, A. (2016, 30 de junio). Aprovechamiento de residuos orgánicos agrícolas y forestales en Iberoamérica. *Academia & Virtualidad*.

Recuperado de file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/Dialnet-AprovechamientoDeResiduosOrganicosAgricolasYForest-5633579%20(1).pdf

Chica, J. (2013). Forosecuador.ec: Productos que se cultivan en la costa del Ecuador. Quito: Bulletin. Recuperado de <http://www.forosecuador.ec/forum/ecuador/educaci%C3%B3n-y-ciencia/23631-productos-que-se-cultivan-en-la-costa-de-ecuador>

Córdova, L. (2017). Evaluación del proceso de compostaje con diferentes tipos de mezclas basadas en la relación C/N y la adición de preparados biodinámicos en la Granja Modelo Pairumani. Cochabamba, BO. [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1683-07892012000100004](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1683-07892012000100004)

Crespo, H. (2019). (19 de noviembre de 2019). Huertos caseros, una opción hacia lo saludable. *La Hora*. Recuperado de <https://www.lahora.com.ec/noticia/1102287178/huertos-caseros-una-opcion-hacia-lo-saludable>

Díaz, M.J., Jiménez, L., Cabrera, F., y De Bertoldi, M. 2015. Using a second order polynomials model to determine the optimum vinasse/grape marc ratio for in vessel composting. *Compost Sci. Util.*, 12 (3), 273-279.

Dominica, J. (2018). ¿Cómo se realiza un ensayo de germinación? Ciudad de México, MX. Recuperado de <https://www.gob.mx/snics/articulos/como-se-realiza-un-ensayo-de-germinacion?idiom=es>

Donald, K. (2017). Agricultura orgánica, el compost. Río Negro, AR. Recuperado de [https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta\\_material\\_didactico\\_nro\\_05.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_material_didactico_nro_05.pdf)

Ekinci, K., Keener, H.M., y Elwell, D.L. 2004. Effects of aeration strategies on the composting process: Part I. Experimental studies. *Trans. ASAE*, 47 (5), 1697-1708.

- Elizalde, P. (2018). El nitrógeno del suelo. Facultad de Agronomía y Zootecnia Universidad Nacional de Tucumán, AR. Recuperado de file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/El%20nitrógeno%20del%20suelo%202019.pdf
- Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua. (2017). Informe sobre uso del suelo en el Ecuador. Recuperado de [https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas\\_agropecuarias/espac/espac\\_2017/Informe\\_Ejecutivo\\_ESPA\\_C\\_2017.pdf](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac_2017/Informe_Ejecutivo_ESPA_C_2017.pdf)
- FAO. (2016). *Bioenergía y Seguridad Alimentaria Evaluación Rápida (BEFS RA)*. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-bp843s.pdf>
- FUNDESRYAM. (2017). Biblioteca Agroecológica: ¿Cómo aporta la cascarilla de arroz en el abono fermentado? Bogotá, CO. Recuperado de <https://www.fundesryam.info/biblioteca.php?id=4737>
- García, C. (12 de mayo de 2016). Cómo hacer compost, Concepto y fases del compostaje. *AgroEs.es*. En línea. Recuperado de <https://www.agroes.es/agricultura/abonos/810-como-hacer-compost-concepto-y-fases-del-compostaje>
- García, L. A. y Quinke, A. (2018). El Potasio (K) en la Producción de Cultivos de Invierno. Serie Actividad de Difusión. INIA. Argentina. (67), 79-14.
- García, S. (2015). Boletín Agrario: Subproducto agrícola. Lima, PE. Recuperado de <https://boletinagrario.com/ap-6,subproducto+agricola,4591.html>
- Gómez, L. (2019). Relación carbono – nitrógeno. Cali, CO. Recuperado de <https://www.tiloom.com/relacion-carbono-nitrogeno/>
- Gordillo, F. (2018). Evaluación comparativa de la calidad del compost producido a partir de diferentes combinaciones de desechos agroindustriales azucareros. Guayaquil, EC. Recuperado de

<https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/9112/1/Evaluaci%C3%B3n%20Comparativa%20de%20la%20calidad%20del%20compost.pdf>

Hoornweg y Bhada, (2012). What a waste. A global review of solid waste management. Washington. USA. World Bank.

Huamán, M. (2019). Concentración de nitrógeno, fósforo, potasio y calcio en el compost producido a partir de residuos sólidos orgánicos de mercados populares y residencias de Huaraz-Ancash. Recuperado de file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/Dialnet-ConcentracionDeNitrogenoFosforoPotasioYCalcioEnEIC-7178734.pdf

Iza, K. (2017). Los nutrientes del compost. Barcelona, ES. Recuperado de <http://www.compostadores.com/descubre-el-compostaje/la-cosecha-el-compost-casero/154-los-nutrientes-en-el-compost.html>

Jara, E. (2018). Rizosfera. Cali, CO. Recuperado de <https://www.mendoza.conicet.gov.ar/portal/enciclopedia/terminos/Rizosfera.htm>

Jiménez, H. (2017). Conductividad Eléctrica en las enmiendas orgánicas (compost): Importancia, efecto y recomendaciones. Recuperado de <https://www.fosacperu.com/conductividad-electrica-en-las-enmiendas-organicas-compost-importancia-efecto-y-recomendaciones/>

Kanissery, R y Sims, K. (2011). Biostimulation for the enhanced degradation of herbicides in soil. Applied and Environmental Soil Science Article, 1-10.

Leconte, M. (2010). *Efecto del agregado de estiércol de gallina en el compostaje de aserrín y cascarilla de arroz*. (tesis de pregrado). Universidad Nacional del Comahue, Corrientes.

Libreros, S. (2012). La caña de azúcar fuente de energía: Compostaje de residuos industriales en Colombia. Técnicañavol, (28), 13-14.

- Locke, L. (2017). El compost, temperatura y humedad. Barcelona, ES. Recuperado de <http://www.compostadores.com/descubre-el-compostaje/compostar-hacer-compost/147-el-compost-temperatura-y-humedad.html#:~:text=El%20compostaje%20es%20un%20proceso,los%2065%2D70%C2%B0C>.
- López y Sáinz (2018). El pH en el compost. Compostadores, flowers. Recuperado de <http://www.compostadores.com/descubre-el-compostaje/la-cosecha-el-compost-casero/155-el-ph-en-el-compost.html>
- Márquez, N. (2018). A review of the literature on the occurrence and survival of pathogens of animals and humans in green compost. UK: Editor Oxon. Recuperado de [http://www.gwmc.ca/pdf\\_files/Literature%20Review%20-%20Human%20and%20Animal%20Pathogens%20in%20Compost.pdf](http://www.gwmc.ca/pdf_files/Literature%20Review%20-%20Human%20and%20Animal%20Pathogens%20in%20Compost.pdf)
- Martínez, B. (05 de septiembre de 2018). Ambientum. Relación Carbono – Nitrógeno. Lima, PE. Recuperado de [https://www.ambientum.com/enciclopedia\\_medioambiental/suelos/relacion\\_carbono\\_nitrogeno.asp](https://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/suelos/relacion_carbono_nitrogeno.asp)
- Mendoza, R. (11 de enero de 2018). Esturirafi: La importancia del compostaje. Barcelona, ES. Recuperado de <https://www.esturirafi.com/2018/01/la-importancia-del-compostaje.html>
- Mula, A. (2017). Relación C/N (carbono/nitrógeno) en el suelo. Cádiz, ES. Recuperado de <https://www.agromatica.es/relacion-cn-o-carbono-nitrogeno/>
- Ortega, L. (2017). Relaciones carbono-nitrógeno en fertilización de estanques y sistemas de biofloc. Recuperado de <https://www.aquaculturealliance.org/advocate/relaciones-carbono-nitrogeno-en-fertilizacion-de-estanques-y-sistemas-de-biofloc/>
- Ortega, M. (2017). Materia orgánica y compost: De desecho orgánico a herramienta agronómica de sustentabilidad Simposio de la International Society for Horticultural Science. Recuperado de <https://www.redagricola.com/cl/materia->

organica-compost-desecho-organico-herramienta-agronomica-sustentabilidad-simposio-la-international-society-for-horticultural-science/

Ospina, B. (2012). La yuca en el tercer milenio. Recuperado de <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=l18Dz9sYZO8C&oi=fnd&pg=PA16&dq=propiedades+de+la+c%C3%A1scara+de+yuca&ots=JTylQzvl3w&sig=IIBpcP9jPCj8SHDbfcDIXG6mmQM#v=onepage&q=propiedades%20de%20la%20c%C3%A1scara%20de%20yuca&f=false>

Pereira, M. (2017). Conductividad Eléctrica en las enmiendas orgánicas (compost): Importancia, efecto y recomendaciones. Trujillo, PE. Recuperado de <https://www.fosacperu.com/conductividad-electrica-en-las-enmiendas-organicas-compost-importancia-efecto-y-recomendaciones/>

Pérez, Z. (2016). La importancia del pH en el proceso de compostaje. Lima, PE. Recuperado de <http://unjuradio.com/2020/05/21/la-importancia-del-ph-en-el-proceso-de-compostaje/>

Preysler, C. (06 de diciembre de 2016). Cuidateplus: ¿Qué propiedades tiene la yuca? Lima, PE. Recuperado de <https://cuidateplus.marca.com/alimentacion/nutricion/2016/12/06/-propiedades-yuca-137135.html>

Ramírez, J. (2018). Interpretación de análisis de un compost. Santiago, Cl. Recuperado de <https://www.boe.es/eli/es/rd/2013/06/28/506/con>

Ramos, D y Terry, E. (2014). Generalidades de los abonos orgánicos: importancias del bocashi como alternativa nutricional para suelo y plantas. *Cultivos Tropicales*, 35(4), 52-59

Real Decreto España, (2013). Real Decreto sobre productos fertilizantes. Recuperado de <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2013-7540>

Rodríguez, J. (2016). Balance de la relación carbono-nitrógeno para una óptima descomposición aeróbica de la Bora (*Eichhomia crassipes* (mart.) Solms) en

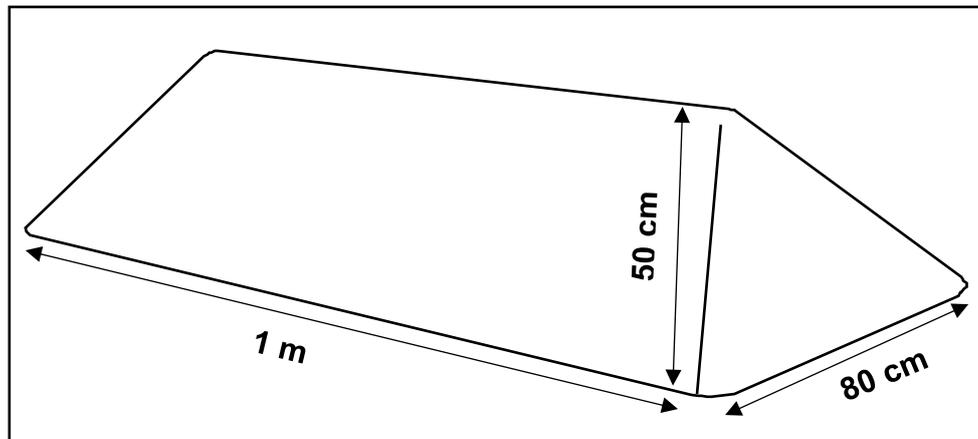
- abono orgánico. Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/235928973.pdf>
- Rojas, P. (2019). Compostaje. Madrid, ES. Recuperado de <https://innovatione.eu/2019/06/03/compostaje/>
- Romero, T. (04 de mayo de 2018). Ambientum. Relación Carbono – Nitrógeno. Recuperado de [https://www.ambientum.com/enciclopedia\\_medioambiental/suelos/relacion\\_carbono\\_nitrogeno.asp](https://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/suelos/relacion_carbono_nitrogeno.asp)
- Sánchez, F. y Rubio, L. (2017). Efecto de la aplicación de compost sobre las propiedades físicas y químicas del suelo. En C. J. Moreno y H. R. Moral, Compostaje. Madrid: Mundi-Prensa. 111-140
- Santana, F. (2012). La observación y análisis de la composta para el mejoramiento del medio ambiente. Centro de estudios “José Vasconcelos”, Guerrero, México. Recuperado de <https://es.slideshare.net/sofiabahena/composta-proyecto>
- Santos, F. (2017). Transformación del nitrógeno durante el compostaje de bosta de caballo. *Revista Producción Más Limpia*. 13(2), 77-88. <http://dx.doi.org/10.22507/pml.v13n2a9>
- SENPLADES. Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021. SENPLADES: Quito, 2017
- Sierra, J. (2012). *Alternativas de aprovechamiento de la cascarilla de arroz en Colombia*. (tesis de pregrado). Universidad de Sucre, Sincelejo.
- Siles, G. (2016). Suelo y compostaje. Jaén, ES. Recuperado de [https://www.ujaen.es/servicios/aulaverde/sites/servicio\\_aulaverde/files/uploads/HUERTO\\_UJA\\_Suelo.pdf](https://www.ujaen.es/servicios/aulaverde/sites/servicio_aulaverde/files/uploads/HUERTO_UJA_Suelo.pdf)
- SINAGAP. (2013). Corporación Financiera Nacional. Ficha de arroz. Quito, Ec. Recuperado de <https://www.cfn.fin.ec/wp-content/uploads/2018/04/Ficha-Sectorial-Arroz.pdf>

- Soledispa, C. (25 de agosto de 2017). Producción de compost. *La Hora*. Recuperado de <https://www.lahora.com.ec/noticia/1101382931/iancem-empresa-pionera-en-produccion-de-compost>
- Suárez, M. (2018). Control de calidad en el proceso de compostaje. Lima, PE. Recuperado de <https://inversanet.wordpress.com/2012/01/20/control-de-calidad-en-el-proceso-de-compostaje/>
- Suárez, Z. (2018). Control de la relación carbono-nitrógeno en el compostaje. Santiago, Cl. Recuperado de <https://www.agromatica.es/relacion-cn-en-el-compost/#:~:text=La%20relaci%C3%B3n%20Carbono%2DNitr%C3%B3geno%20del,carbono%20por%201%20de%20nitr%C3%B3geno>
- Sunmer, M. y Farina, M. (2015). Phosphorus interactions with other nutrients and lime in field cropping systems. *Advances in Soil Science*, Vol 5. Springer-Verlag New York, Inc. 201-236
- Suzi, L. (2018). Biostimulation and enhancement of pesticide degradation around water abstraction fields. DTU environment. Recuperado de [https://backend.orbit.dtu.dk/ws/files/58035233/Suzi\\_Levi\\_PhD\\_Thesis\\_WWW\\_Version\\_2.pdf](https://backend.orbit.dtu.dk/ws/files/58035233/Suzi_Levi_PhD_Thesis_WWW_Version_2.pdf)
- Tejada, C. (2016). Aprovechamiento de Cáscaras de Yuca y Ñame para el Tratamiento de Aguas Residuales Contaminadas con Pb (II). *Información Tecnológica*, 27(1), 25-32. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642016000100003>
- Tortosa, G. (10 de febrero de 2015). Sistemas de compostaje. Recuperado de <http://www.compostandociencia.com/2015/02/sistemas-de-compostaje/>
- Valdivia, R. (11 de marzo de 2016). Prueba de germinación de semillas. Recuperado de [http://a4n.alianzacacao.org/uploaded/mod\\_documentos/PRUEBA%20DE%20GERMINACION.pdf](http://a4n.alianzacacao.org/uploaded/mod_documentos/PRUEBA%20DE%20GERMINACION.pdf)

- Vargas, J. (06 de junio de 2013). Caracterización del subproducto cascarillas de arroz en búsqueda de posibles aplicaciones como materia prima en procesos. *Revista Científica*. Recuperado de file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/Dialnet-CharacterizacionDelSubproductoCascarillaDeArrozEnBu-5069938.pdf
- Varona, J. (2012). Análisis de las características técnicas y sociales asociadas a procesos de compostaje comunitario. Barcelona, ES. Recuperado de <http://www.compostaenred.org/documentacion/ProyectoJavierVarona.pdf>
- Vásquez, J. y Loli, O. (2018). Compost y vermicompost como enmiendas en la recuperación de un suelo degradado por el manejo de *Gypsophila paniculata*. *Scientia Agropecuaria*, 9(1), 43-52.
- Vélez, H. (05 de junio de 2018). Compostadores: El pH en el compost. Barquisimeto, VE. Recuperado de <http://www.compostadores.com/descubre-el-compostaje/la-cosecha-el-compost-casero/155-el-ph-en-el-compost.html#:~:text=Conviene%20que%20el%20compost%20sea,detendr%C3%ADa%20o%20se%20ralentizar%C3%ADa%20notablemente.>
- Zagal, E. (2016). Eficiencia de uso y dinámica del nitrógeno en una rotación con y sin uso de residuos. Cali, CO. Recuperado de [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0365-28072003000300009](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0365-28072003000300009)
- Zamora, L. (2017). Caracterización química y física de compost de lombrices elaborados a partir de residuos orgánicos puros y combinados. *Agricultura Técnica*. Recuperado por [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0365-28072000000100008](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0365-28072000000100008)
- Zuquilanda, M (junio de 2015). El deterioro de los suelos en el Ecuador y la producción agrícola. En H. Aguilar (presidencia), *Simposio Internacional sobre Suelos*. Simposio llevado a cabo en el XI Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo, Quito, Ecuador.

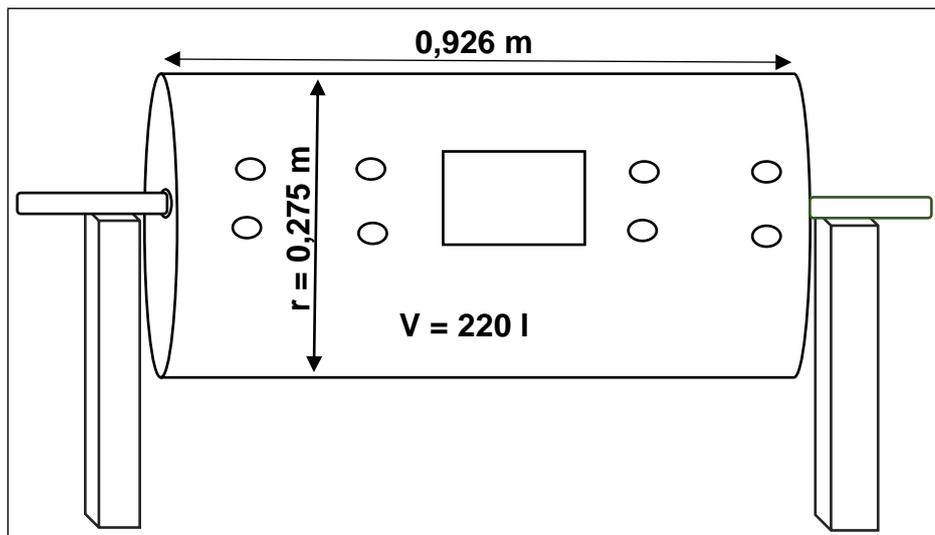
## **ANEXOS**

**ANEXO 1.** Diseño de la pila de compostaje con sus respectivas medidas.



**Fuente:** Los investigadores, 2020.

**ANEXO 2.** Diseño del reactor de compostaje con sus unidades de medida.



**Fuente:** Los investigadores, con adaptación de Manual de Compostaje de la FAO (2013).

**ANEXO 3.** Registro de temperatura en el proceso de compostaje.

TEMPERATURA						
Fecha	T1	T2	T3	T4	T5	T6
	75% CA + 25% CY (CAMAS)	75% CA + 25% CY (TANQUE)	50% CY + 50% CA (CAMAS)	50% CY + 50% CA (TANQUE)	25% CA + 75% CY (CAMAS)	25% CA + 75% CY (TANQUE)
DÍA 1	29.57	30.2	29.37	35.03	32.23	33.43
DÍA 2	30.4	30.9	36.47	41.77	34.68	36.63
DÍA 3	33.4	32.03	43.67	33.4	43.2	34.83
DÍA 4	32.26	28.4	44.5	30	42	34.77
DÍA 5	32.03	31.33	43.07	30.03	49.67	35.67
DÍA 6	30.8	29.87	38.37	30.93	46.23	30.2
DÍA 7	31.33	26.5	39.93	30.1	44.87	30.73
<b>SEMANA 1</b>	<b>31.40</b>	<b>29.89</b>	<b>39.34</b>	<b>33.04</b>	<b>41.84</b>	<b>33.75</b>
DÍA 8	31.4	29.9	41.5	35.1	49.17	40.07
DÍA 9	33.27	33.17	33.4	38.27	51.33	45.67
DÍA 10	33.27	31.17	33.4	38.27	51.33	45.67
DÍA 11	33.27	33.57	33.4	38.27	51.33	45.67
DÍA 12	34.3	35.57	36.23	39.03	51.33	53.5
DÍA 13	33.9	33.57	33.4	38.27	51.33	45.67
DÍA 14	36.33	36.3	37.17	38.27	50.63	49.6
<b>SEMANA 2</b>	<b>33.68</b>	<b>33.32</b>	<b>35.50</b>	<b>37.93</b>	<b>50.92</b>	<b>46.55</b>
DÍA 15	37.93	38.63	36.37	38.27	47.5	44.67
DÍA 16	38.7	38.5	37.37	37.5	46.97	45.67
DÍA 17	37.37	36.57	36.67	38.33	47.2	45.67
DÍA 18	36.73	36.4	36.47	38.27	47.2	45.67
DÍA 19	36.5	36.2	36.2	37.97	46.87	45.2
DÍA 20	36.47	35.7	36.17	38.27	47.73	45.17
DÍA 21	36.5	35.7	35.8	38.03	46.57	45.5
<b>SEMANA 3</b>	<b>37.17</b>	<b>36.81</b>	<b>36.44</b>	<b>38.09</b>	<b>47.15</b>	<b>45.36</b>
DÍA 22	36.37	35.63	35.63	37.73	46.4	45.2
DÍA 23	36.07	35.4	35.27	37.37	46.07	45.23
DÍA 24	35.87	36.43	37.03	38.67	46.63	45.67
DÍA 25	36.27	36.7	36.5	38.8	47.27	46.5
DÍA 26	36.73	37.97	37.4	39.3	49.83	46.73
DÍA 27	36.87	40.27	38.33	39.47	48.37	47.43
DÍA 28	37.20	40.37	38.77	40.73	49.40	48.23
<b>SEMANA 4</b>	<b>36.48</b>	<b>37.54</b>	<b>36.99</b>	<b>38.87</b>	<b>47.71</b>	<b>46.43</b>
DÍA 29	38.37	40.87	39.43	41.40	49.60	48.03
DÍA 30	39.50	42.30	40.50	43.43	50.37	50.23
DÍA 31	40.30	42.40	41.33	43.80	51.33	50.57
DÍA 32	40.60	42.60	41.57	44.27	51.53	50.70
DÍA 33	40.83	42.77	41.83	44.60	51.80	50.80

DÍA 34	41.17	43.30	42.37	44.87	52.27	51.20
DÍA 35	41.60	43.67	42.63	45.20	52.53	51.73
<b>SEMANA 5</b>	<b>40.34</b>	<b>42.56</b>	<b>41.38</b>	<b>43.94</b>	<b>51.35</b>	<b>50.47</b>
DÍA 36	42.33	42.80	42.87	32.93	51.87	52.23
DÍA 37	42.67	43.37	43.33	46.20	52.20	52.73
DÍA 38	43.27	43.80	43.87	46.67	52.80	52.57
DÍA 39	43.73	44.17	44.33	47.33	53.27	53.67
DÍA 40	44.20	44.87	44.63	47.80	53.67	54.17
DÍA 41	45.30	45.80	45.33	48.33	54.30	54.43
DÍA 42	45.10	46.23	45.13	47.80	53.87	54.23
<b>SEMANA 6</b>	<b>43.80</b>	<b>44.43</b>	<b>44.21</b>	<b>45.30</b>	<b>53.14</b>	<b>53.43</b>
DÍA 43	44.83	46.10	44.80	47.27	53.37	53.80
DÍA 44	44.60	45.80	44.50	46.83	53.23	53.53
DÍA 45	44.30	45.47	44.23	46.40	53.13	53.27
DÍA 46	43.80	45.20	43.87	46.20	52.80	53.87
DÍA 47	43.50	44.80	43.60	44.80	52.67	53.73
DÍA 48	43.33	44.47	43.33	44.60	52.50	53.50
DÍA 49	42.83	44.20	42.87	44.40	52.13	53.17
<b>SEMANA 7</b>	<b>43.89</b>	<b>45.15</b>	<b>43.89</b>	<b>45.79</b>	<b>52.83</b>	<b>53.55</b>
DÍA 50	42.73	43.83	42.70	43.73	51.80	52.80
DÍA 51	42.53	43.60	42.53	43.53	51.57	52.60
DÍA 52	42.20	43.20	42.20	43.17	51.23	52.17
DÍA 53	41.80	42.87	41.83	42.87	50.87	51.77
DÍA 54	41.60	42.50	41.60	42.60	50.53	51.60
DÍA 55	41.20	42.20	40.87	42.50	50.20	51.23
DÍA 56	40.80	41.80	40.50	42.20	49.70	49.70
<b>SEMANA 8</b>	<b>41.84</b>	<b>42.86</b>	<b>41.75</b>	<b>42.94</b>	<b>50.84</b>	<b>51.70</b>
DÍA 57	40.50	41.47	40.30	41.70	49.53	49.50
DÍA 58	40.20	41.23	40.80	41.53	49.20	49.20
DÍA 59	39.70	41.77	40.50	41.30	48.80	48.83
DÍA 60	39.50	41.54	40.26	40.70	48.49	48.52
DÍA 61	39.27	41.33	39.74	40.58	48.31	48.35
DÍA 62	38.54	39.37	37.44	38.28	41.29	41.74
DÍA 63	36.36	37.64	36.37	37.53	39.29	40.16
<b>SEMANA 9</b>	<b>39.15</b>	<b>40.62</b>	<b>39.34</b>	<b>40.23</b>	<b>46.42</b>	<b>46.62</b>
DÍA 64	34.14	35.4	33.4	34.4	37.3	38.19
DÍA 65	30.4	32.3	31.45	33.65	34.2	35.25
DÍA 66	29.57	30.45	29.5	30.3	31.15	32.33
DÍA 67	29.45	30.15	29.4	29.85	30.2	31.3
DÍA 68	29.2	29.9	29.1	29.5	29.8	30.2
DÍA 69	29.1	29.5	28.7	29.3	29.5	30.1
DÍA 70	28.9	29.3	28.6	29.1	29.4	29.8

<b>SEMANA 10</b>	30.11	31.00	30.02	30.87	31.65	32.45
DÍA 71	28.7	29.1	28.3	29	29.2	29.5
DÍA 72	28.5	29.2	28.1	29.3	29	29.1
DÍA 73	28.1	29.4	28.2	29.1	28.8	28.9
DÍA 74	27.6	29.1	28.3	28.7	28.7	28.8
DÍA 75	27.8	28.9	28.1	28.4	28	28.2
DÍA 76	27.6	28.4	28.2	28.1	28.4	28.1
DÍA 77	27.2	28.1	27.9	27.95	28.33	28.45
<b>SEMANA 11</b>	27.93	28.89	28.16	28.65	28.63	28.72
DÍA 78	26.55	25.2	27.5	25.5	24.93	24.46
DÍA 79	26.98	25.39	27.95	24.68	25.12	24.75
DÍA 80	26.92	24.81	28.36	24.93	27.58	23.73
DÍA 81	27.11	27.99	27.65	27.12	28.15	27.55
DÍA 82	26.52	26.12	27.32	25.69	28.11	27.18
DÍA 83	26.24	26.45	26.85	26.15	25.28	26.47
DÍA 84	26.75	26.54	27.14	26.19	25.15	26.41
<b>SEMANA 12</b>	26.72	26.07	27.54	25.75	26.33	25.79
DÍA 85	25.91	23.12	26.2	25.6	26.4	23.7
DÍA 86	26.22	22.9	26.7	23.5	27.1	23.8
DÍA 87	25.67	23.2	27.8	23.2	26.6	23.6
DÍA 88	24.74	21.32	27.09	25.82	25.39	22.3
DÍA 89	24.93	22.62	26.47	24.38	26.1	23.01
DÍA 90	25.11	21.12	26.01	23.02	26.02	23.72
DÍA 91	25.16	23.42	25.13	24.31	27.67	22.42
<b>SEMANA 13</b>	25.39	22.53	26.49	24.26	26.47	23.22

#### ANEXO 4. Registro de pH en el proceso de compostaje.

pH						
Fecha	T1	T2	T3	T4	T5	T6
	75% CA + 25% CY (CAMAS)	75% CA + 25% CY (TANQUE)	50% CY + 50% CA (CAMAS)	50% CY + 50% CA (TANQUE)	25% CA + 75% CY (CAMAS)	25% CA + 75% CY (TANQUE)
DÍA 1	7.34	6.20	7.07	7.13	7.13	7.05
DÍA 2	8.08	7.55	7.43	7.41	7.23	7.34
DÍA 3	5.36	5.49	5.27	5.13	5.05	5.53
DÍA 4	7.87	7.16	8.13	7.05	7.64	7.37
DÍA 5	6.52	7.30	6.14	6.83	6.23	6.54
DÍA 6	6.90	7.05	7.20	7.13	7.19	7.16
DÍA 7	7.57	7.92	7.26	7.82	7.60	7.32
<b>SEMANA 1</b>	7.09	6.95	6.93	6.93	6.87	6.90
DÍA 8	7.61	7.62	7.32	7.78	7.61	7.38
DÍA 9	7.40	7.25	7.32	7.45	7.50	7.15

DÍA 10	7.40	7.25	7.32	7.45	7.5	7.15
DÍA 11	7.40	7.25	7.32	7.45	7.50	7.15
DÍA 12	7.55	7.36	7.42	7.59	8.17	8.12
DÍA 13	7.88	7.55	7.52	7.39	7.41	8.14
DÍA 14	8.11	8.16	7.15	7.32	7.54	7.59
<b>SEMANA 2</b>	<b>7.62</b>	<b>7.49</b>	<b>7.34</b>	<b>7.49</b>	<b>7.60</b>	<b>7.53</b>
DÍA 15	7.40	7.25	7.32	7.45	7.50	7.15
DÍA 16	7.05	7.15	7.37	7.44	7.26	7.03
DÍA 17	7.22	7.15	7.25	7.45	7.50	7.15
DÍA 18	7.17	7.23	7.12	7.45	7.47	7.21
DÍA 19	7.13	7.12	7.13	7.42	7.44	7.07
DÍA 20	7.17	7.15	7.22	7.43	7.20	7.18
DÍA 21	7.18	7.22	7.23	7.40	7.45	7.13
<b>SEMANA 3</b>	<b>7.19</b>	<b>7.18</b>	<b>7.23</b>	<b>7.43</b>	<b>7.40</b>	<b>7.13</b>
DÍA 22	7.19	7.20	7.30	7.35	7.36	7.14
DÍA 23	7.23	7.15	7.17	7.33	7.40	7.17
DÍA 24	7.16	7.15	7.30	7.32	7.37	7.22
DÍA 25	7.27	7.15	7.30	7.45	7.42	7.15
DÍA 26	7.23	7.20	7.22	7.41	7.37	7.24
DÍA 27	7.21	7.24	7.30	7.44	7.50	7.17
DÍA 28	7.17	7.17	7.23	7.39	7.26	7.15
<b>SEMANA 4</b>	<b>7.21</b>	<b>7.18</b>	<b>7.26</b>	<b>7.39</b>	<b>7.38</b>	<b>7.18</b>
DÍA 29	7.16	7.20	7.23	7.36	7.36	7.12
DÍA 30	7.20	7.15	7.30	7.45	7.32	7.21
DÍA 31	7.09	7.18	7.27	7.26	7.50	7.15
DÍA 32	7.26	7.27	7.27	7.28	7.50	7.25
DÍA 33	7.22	7.29	7.34	7.37	7.62	7.26
DÍA 34	7.36	7.34	7.37	7.43	7.63	7.27
DÍA 35	7.42	7.39	7.35	7.46	7.61	7.35
<b>SEMANA 5</b>	<b>7.24</b>	<b>7.26</b>	<b>7.31</b>	<b>7.37</b>	<b>7.51</b>	<b>7.23</b>
DÍA 36	7.44	7.41	7.37	7.48	7.70	7.40
DÍA 37	7.49	7.43	7.40	7.52	7.68	7.43
DÍA 38	7.51	7.48	7.36	7.58	7.72	7.54
DÍA 39	7.57	7.58	7.39	7.63	7.72	7.64
DÍA 40	7.58	7.58	7.41	7.63	7.77	7.60
DÍA 41	7.64	7.66	7.43	7.63	7.78	7.59
DÍA 42	7.55	7.61	7.46	7.62	7.75	7.63
<b>SEMANA 6</b>	<b>7.54</b>	<b>7.54</b>	<b>7.40</b>	<b>7.59</b>	<b>7.73</b>	<b>7.55</b>
DÍA 43	7.54	7.57	7.43	7.61	7.83	7.71
DÍA 44	7.56	7.62	7.48	7.59	7.93	7.75
DÍA 45	7.56	7.66	7.55	7.65	7.95	7.84
DÍA 46	7.52	7.60	7.50	7.61	7.93	7.80
DÍA 47	7.48	7.52	7.46	7.54	7.88	7.85

DÍA 48	7.45	7.51	7.51	7.52	7.85	7.79
DÍA 49	7.41	7.49	7.48	7.43	7.75	7.68
<b>SEMANA 7</b>	<b>7.50</b>	<b>7.57</b>	<b>7.49</b>	<b>7.56</b>	<b>7.87</b>	<b>7.78</b>
DÍA 50	7.42	7.46	7.38	7.42	7.67	7.62
DÍA 51	7.41	7.37	7.42	7.37	7.52	7.61
DÍA 52	7.37	7.35	7.40	7.33	7.48	7.55
DÍA 53	7.38	7.33	7.37	7.33	7.40	7.47
DÍA 54	7.43	7.37	7.29	7.27	7.43	7.40
DÍA 55	7.46	7.37	7.30	7.24	7.46	7.45
DÍA 56	7.43	7.38	7.28	7.29	7.46	7.36
<b>SEMANA 8</b>	<b>7.41</b>	<b>7.38</b>	<b>7.35</b>	<b>7.32</b>	<b>7.49</b>	<b>7.49</b>
DÍA 57	7.49	7.42	7.26	7.24	7.51	7.45
DÍA 58	7.46	7.41	7.23	7.27	7.48	7.40
DÍA 59	7.38	7.40	7.19	7.31	7.39	7.30
DÍA 60	7.33	7.43	7.22	7.32	7.39	7.42
DÍA 61	7.39	7.43	7.37	7.38	7.36	7.43
DÍA 62	7.53	7.50	7.42	7.37	7.56	7.43
DÍA 63	7.58	7.56	7.59	7.45	7.68	7.57
<b>SEMANA 9</b>	<b>7.45</b>	<b>7.45</b>	<b>7.33</b>	<b>7.33</b>	<b>7.48</b>	<b>7.43</b>
DÍA 64	7.58	7.57	7.61	7.47	7.75	7.71
DÍA 65	7.45	7.62	7.89	7.69	7.68	7.89
DÍA 66	7.52	7.65	7.84	7.48	7.54	7.68
DÍA 67	7.93	7.68	7.63	7.97	7.89	8.10
DÍA 68	7.54	7.98	7.52	7.95	7.90	7.74
DÍA 69	7.23	7.69	7.48	7.64	7.63	7.75
DÍA 70	7.55	7.77	7.63	7.38	7.68	7.61
<b>SEMANA 10</b>	<b>7.54</b>	<b>7.71</b>	<b>7.66</b>	<b>7.65</b>	<b>7.72</b>	<b>7.78</b>
DÍA 71	7.68	7.86	7.65	7.75	7.65	7.69
DÍA 72	7.66	7.52	7.87	7.69	7.80	7.84
DÍA 73	7.45	7.45	7.52	7.45	7.75	8.14
DÍA 74	7.89	7.63	7.99	7.86	8.26	8.21
DÍA 75	7.55	7.79	8.11	8.15	8.14	7.85
DÍA 76	7.71	7.25	8.23	7.56	7.86	7.62
DÍA 77	7.45	7.29	7.87	8.12	7.48	7.55
<b>SEMANA 11</b>	<b>7.63</b>	<b>7.54</b>	<b>7.89</b>	<b>7.80</b>	<b>7.85</b>	<b>7.84</b>
DÍA 78	7.73	7.37	7.78	7.83	7.52	7.46
DÍA 79	7.73	7.51	7.87	7.37	7.61	7.33
DÍA 80	7.71	7.38	7.92	7.45	7.65	7.66
DÍA 81	7.89	7.65	8.28	8.12	7.89	8.29
DÍA 82	8.25	7.95	7.68	7.85	8.24	7.45
DÍA 83	7.69	8.26	7.75	7.24	7.85	8.12
DÍA 84	8.25	7.64	7.45	7.96	7.75	8.45

SEMANA 12	7.89	7.68	7.82	7.69	7.79	7.82
DÍA 85	8.15	7.98	8.17	8.24	8.35	8.26
DÍA 86	8.23	8.11	8.25	8.50	8.91	8.43
DÍA 87	8.42	7.92	8.45	8.22	8.82	8.35
DÍA 88	7.61	7.36	8.01	8.42	8.97	8.12
DÍA 89	8.39	7.02	7.85	8.06	8.64	8.56
DÍA 90	8.01	8.40	7.99	8.11	8.02	8.64
DÍA 91	7.82	7.99	8.34	7.96	8.74	8.03
SEMANA 13	8.09	7.83	8.15	8.22	8.64	8.34

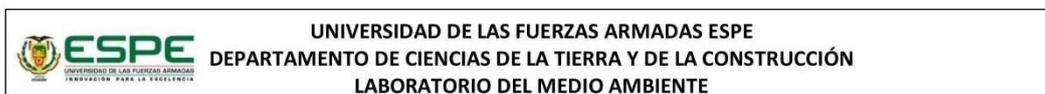
### ANEXO 5. Registro de C.E. en el proceso de compostaje.

CE						
Fecha	T1	T2	T3	T4	T5	T6
	75% CA + 25% CY (CAMAS)	75% CA + 25% CY (TANQUE)	50% CY + 50% CA (CAMAS)	50% CY + 50% CA (TANQUE)	25% CA + 75% CY (CAMAS)	25% CA + 75% CY (TANQUE)
DÍA 1	2.1	2.03	2.05	1.9	5.02	5
DÍA 2	2.36	2.1	2.38	3.53	5.65	5.64
DÍA 3	2.03	1.46	3.02	3.26	3.75	5.21
DÍA 4	2.1	3.26	2.34	3.26	4.2	4.36
DÍA 5	1.47	3.59	1.87	2.62	4.78	4.12
DÍA 6	1.65	1.2	1.83	2.63	4.9	3.1
DÍA 7	1.8	0.78	1.52	2.8	4.8	3.23
SEMANA 1	1.93	2.06	2.14	2.86	4.73	4.38
DÍA 8	1.92	1.53	1.9	2.99	5	3.4
DÍA 9	1.78	1.5	1.8	2.1	4.1	3.45
DÍA 10	1.78	1.5	1.8	2.1	4.1	3.45
DÍA 11	1.65	1.45	1.8	1.81	3.95	3.12
DÍA 12	1.2	1.23	1.6	1.44	3.4	3.12
DÍA 13	1.28	1.45	1.8	1.81	3.95	3.12
DÍA 14	1.3	1.35	1.4	1.45	3.5	3.1
SEMANA 2	1.56	1.43	1.73	1.96	4.00	3.25
DÍA 15	1.45	1.45	1.33	1.35	3.4	2.9
DÍA 16	1.55	1.45	1.4	1.45	3.2	2.8
DÍA 17	1.52	1.43	1.72	1.79	3.15	2.7
DÍA 18	1.5	1.42	1.71	1.77	3.1	2.65
DÍA 19	1.45	1.4	1.7	1.76	2.95	2.6
DÍA 20	1.43	1.39	1.68	1.75	2.9	2.55
DÍA 21	1.41	1.4	1.65	1.72	2.85	2.5
SEMANA 3	1.47	1.42	1.60	1.66	3.08	2.67
DÍA 22	1.4	1.39	1.63	1.7	2.82	2.45
DÍA 23	1.3	1.37	1.6	1.69	2.8	2.4
DÍA 24	1.35	1.35	1.55	1.67	2.78	2.38
DÍA 25	1.28	1.3	1.5	1.65	2.76	2.3

DÍA 26	1.25	1.27	1.45	1.6	2.72	2.25
DÍA 27	1.23	1.25	1.40	1.55	2.55	2.20
DÍA 28	1.20	1.23	1.35	1.50	2.50	2.10
<b>SEMANA 4</b>	<b>1.29</b>	<b>1.31</b>	<b>1.50</b>	<b>1.62</b>	<b>2.70</b>	<b>2.30</b>
DÍA 29	1.14	1.20	1.30	1.45	2.45	1.91
DÍA 30	1.11	1.15	1.25	1.40	2.40	1.87
DÍA 31	1.10	1.10	1.20	1.35	2.35	1.85
DÍA 32	1.11	1.14	1.22	1.37	2.30	1.80
DÍA 33	1.15	1.13	1.24	1.39	2.22	1.90
DÍA 34	1.25	1.19	1.29	1.40	2.18	1.75
DÍA 35	1.31	1.25	1.32	1.42	2.11	1.60
<b>SEMANA 5</b>	<b>1.17</b>	<b>1.17</b>	<b>1.26</b>	<b>1.40</b>	<b>2.29</b>	<b>1.81</b>
DÍA 36	1.35	1.28	1.35	1.45	2.05	1.55
DÍA 37	1.37	1.31	1.38	1.43	1.95	1.58
DÍA 38	1.42	1.36	1.41	1.45	1.85	1.62
DÍA 39	1.45	1.40	1.50	1.55	1.80	1.69
DÍA 40	1.47	1.42	1.53	1.58	1.75	1.68
DÍA 41	1.50	1.48	1.55	1.60	1.78	1.70
DÍA 42	1.49	1.47	1.62	1.59	1.75	1.80
<b>SEMANA 6</b>	<b>1.44</b>	<b>1.39</b>	<b>1.48</b>	<b>1.52</b>	<b>1.85</b>	<b>1.66</b>
DÍA 43	1.55	1.49	1.65	1.60	1.74	1.84
DÍA 44	1.65	1.59	1.71	1.61	1.70	1.85
DÍA 45	1.71	1.60	1.80	1.75	1.75	1.80
DÍA 46	1.68	1.65	1.79	1.74	1.77	1.85
DÍA 47	1.70	1.69	1.72	1.68	1.81	1.80
DÍA 48	1.67	1.62	1.73	1.66	1.85	1.81
DÍA 49	1.68	1.61	1.70	1.61	1.86	1.84
<b>SEMANA 7</b>	<b>1.66</b>	<b>1.61</b>	<b>1.73</b>	<b>1.66</b>	<b>1.78</b>	<b>1.83</b>
DÍA 50	1.61	1.59	1.69	1.65	1.84	1.89
DÍA 51	1.58	1.55	1.66	1.65	1.79	1.71
DÍA 52	1.55	1.53	1.62	1.60	1.80	1.95
DÍA 53	1.56	1.54	1.62	1.54	1.95	2.10
DÍA 54	1.57	1.53	1.50	1.53	1.99	2.11
DÍA 55	1.45	1.45	1.48	1.52	2.10	2.17
DÍA 56	1.52	1.50	1.47	1.51	2.00	1.81
<b>SEMANA 8</b>	<b>1.55</b>	<b>1.53</b>	<b>1.58</b>	<b>1.57</b>	<b>1.92</b>	<b>1.96</b>
DÍA 57	1.53	1.49	1.45	1.49	2.20	1.98
DÍA 58	1.49	1.35	1.40	1.35	2.05	2.00
DÍA 59	1.45	1.40	1.37	1.41	2.11	2.25
DÍA 60	1.40	1.43	1.46	1.50	2.08	2.21
DÍA 61	1.45	1.52	1.37	1.44	2.10	2.17
DÍA 62	1.35	1.41	1.25	1.32	2.04	2.10
DÍA 63	1.25	1.33	1.22	1.30	2.11	2.05
<b>SEMANA 9</b>	<b>1.42</b>	<b>1.42</b>	<b>1.36</b>	<b>1.40</b>	<b>2.10</b>	<b>2.11</b>
DÍA 64	1.24	1.28	1.21	1.28	2.25	2.18
DÍA 65	0.95	1.34	1.45	1.58	3.14	2.45

DÍA 66	0.85	1.27	1.55	1.65	3.59	2.68
DÍA 67	1.11	1.39	1.29	1.75	4.25	3.28
DÍA 68	1.12	1.44	1.38	1.85	3.98	3.45
DÍA 69	0.78	1.12	1.39	1.36	2.78	2.17
DÍA 70	0.75	1.26	1.41	1.45	2.56	2.23
<b>SEMANA 10</b>	<b>0.97</b>	<b>1.30</b>	<b>1.38</b>	<b>1.56</b>	<b>3.22</b>	<b>2.63</b>
DÍA 71	1.15	1.35	1.36	1.99	4.28	1.78
DÍA 72	0.98	1.45	1.42	2.13	3.65	2.25
DÍA 73	0.68	1.58	1.58	1.58	2.98	2.55
DÍA 74	0.67	1.46	1.62	1.62	2.61	3.18
DÍA 75	0.54	1.39	1.48	1.35	4.36	3.36
DÍA 76	0.96	1.65	1.69	1.45	3.01	3.17
DÍA 77	1.02	1.27	1.25	1.65	2.68	2.85
<b>SEMANA 11</b>	<b>0.86</b>	<b>1.45</b>	<b>1.49</b>	<b>1.68</b>	<b>3.37</b>	<b>2.73</b>
DÍA 78	0.84	1.17	1.48	2.24	4.66	3.65
DÍA 79	0.85	1.25	1.52	2.15	3.55	2.85
DÍA 80	0.95	1.27	1.26	2.1	4.25	3.14
DÍA 81	0.89	1.36	1.28	1.85	4.12	2.98
DÍA 82	0.92	1.45	1.38	1.98	3.75	2.95
DÍA 83	0.87	1.29	1.45	2.17	4.15	3.75
DÍA 84	0.89	1.28	1.29	1.85	4.23	3.78
<b>SEMANA 12</b>	<b>0.89</b>	<b>1.30</b>	<b>1.38</b>	<b>2.05</b>	<b>4.10</b>	<b>3.30</b>
DÍA 85	0.76	0.55	1.18	1.92	3.31	2.28
DÍA 86	0.79	0.47	1.27	1.8	2.98	2.37
DÍA 87	0.83	0.74	1.35	1.85	3.45	2.42
DÍA 88	0.75	0.38	1.25	1.87	3.41	1.99
DÍA 89	0.92	0.69	1.38	1.65	3.25	2.25
DÍA 90	0.78	0.49	1.49	1.88	3.39	2.17
DÍA 91	0.91	0.47	1.36	1.96	2.75	2.26
<b>SEMANA 13</b>	<b>0.82</b>	<b>0.54</b>	<b>1.33</b>	<b>1.85</b>	<b>3.22</b>	<b>2.25</b>

## ANEXO 6. Resultados de laboratorio.

**REPORTE DE RESULTADOS**

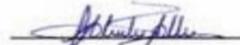
<b>SOLICITANTES:</b> Franklin Barreiro Solórzano - Josué Mero Fuentes	<b>TIPO DE MUESTRA:</b> COMPOSTAJE (INFORMACION DADA POR EL CLIENTE)
<b>PROVINCIA:</b> Manabí <b>CANTÓN:</b> Bolívar	<b>LUGAR DE MUESTREO:</b> ESPAM MFL FECHA TOMA DE MUESTRA: 18-11-2020, (INFORMACION DADA POR EL CLIENTE)
	<b>FECHA DE REALIZACIÓN DE ANÁLISIS:</b> 30-11-2020
<b>MUESTRAS TOMADAS POR:</b> Franklin Barreiro Solórzano - Elvis Mero Fuentes	<b>FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS:</b> 14-12-2020
<b>CORREO ELECTRÓNICO CLIENTE:</b> franklinel1@hotmail.com - jmero@gmail.com	<b>RECIBIDO POR:</b> Ing. Alexandra Albán

MUESTRAS DE COMPOSTEJE	UNIDADES DE MEDIDA	MÉTODO	PARÁMETROS Y RESULTADOS		
			Nitrógeno (N) ppm	Fósforo (P) ppm	Potasio (K) ppm
Testigo	mg/Kg	APHA AWWA WEF 3500- N/P/K	5123,234	3834,253	6461,233
T1 R1			6220,423	3405,431	5660,737
T1 R2			5317,534	4343,896	5640,063
T1 R3			6145,378	5319,372	6670,837
T2 R1			6058,665	4328,652	565,0735
T2 R2			5242,875	5351,633	5492,920
T2 R3			5517,648	5362,613	5603,620
T3 R1			5649,483	5371,763	4580,837
T3 R2			6504,567	4314,662	5620,668
T3 R3			6534,234	6387,554	5658,003

Valores no detectables por el equipo (Espectrofotómetro de Absorción Atómica Marca: *PerkinElmer* – Modelo: *Analyst 200*), se encuentran en el rango de lectura en mg/Kg.

- Métodos normalizados adaptados de Standard Methods.
- El solicitante debe exigir el original con sello del LMA, el laboratorio no se responsabiliza por documentos fotocopiados.
- Los resultados del presente informe afectan únicamente a las muestras analizadas.
- El LMA se encuentra acreditación.

  
 C. M. Erika Murgueta, PhD(c)  
 Jefe de Laboratorio  


  
 Ing. Alexandra Albán  
 Analista Laboratorio



**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE**  
**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA CONSTRUCCIÓN**  
**LABORATORIO DEL MEDIO AMBIENTE**

**REPORTE DE RESULTADOS**

<b>SOLICITANTES:</b> Franklin Barreiro Solórzano - Josué Mero Fuentes	<b>TIPO DE MUESTRA:</b> COMPOSTAJE (INFORMACION DADA POR EL CLIENTE)
<b>PROVINCIA:</b> Manabí <b>CANTÓN:</b> Bolívar	<b>LUGAR DE MUESTREO:</b> ESPAM MFL <b>FECHA TOMA DE MUESTRA:</b> 18-11-2020, (INFORMACION DADA POR EL CLIENTE)
	<b>FECHA DE REALIZACIÓN DE ANÁLISIS:</b> 30-11-2020
<b>MUESTRAS TOMADAS POR:</b> Franklin Barreiro Solórzano - Elvis Mero Fuentes	<b>FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS:</b> 14-12-2020
<b>CORREO ELECTRÓNICO CLIENTE:</b> frankline1@hotmail.com - jmero@gmail.com	<b>RECIBIDO POR:</b> Ing. Alexandra Albán

MUESTRAS DE COMPOSTEJE	UNIDADES DE MEDIDA	MÉTODO	PARÁMETROS Y RESULTADOS		
			Nitrógeno (N) ppm	Fósforo (P) ppm	Potasio (K) ppm
Testigo	mg/Kg	APHA AWWA WEF 3500- N/P/K	5123,234	3834,253	6461,233
T4 R1			7223,425	5438,523	7569,735
T4 R2			7151,234	6429,631	6186,735
T4 R3			7332,214	6408,362	6620,837
T5 R1			6656,623	5399,736	5619,738
T5 R2			5623,983	4338,632	6666,542
T5 R3			6097,563	4373,636	6430,837
T6 R1			6196,628	5328,321	6200,736
T6 R2			5733,461	5318,736	5570,873
T6 R3			6457,626	6418,642	5670,736

Valores no detectables por el equipo (Espectrofotómetro de Absorción Atómica Marca: *PerkinElmer* – Modelo: *AAnalyst 200*), se encuentran en el rango de lectura en mg/Kg.

- Métodos normalizados adaptados de Standard Methods.
- El solicitante debe exigir el original con sello del LMA, el laboratorio no se responsabiliza por documentos fotocopiados.
- Los resultados del presente informe afectan únicamente a las muestras analizadas.
- El LMA se encuentra acreditación.



Ing. Alexandra Albán  
Analista Laboratorio

**ANEXO 7.** Recolección, mezcla y construcción de sistemas de compostaje de los sustratos (cascarilla de arroz y cáscara de yuca).



**Fotografía 1.** Recolección de materia prima.



**Fotografía 2.** Picado de los sustratos.



**Fotografía 3.** Pesado de los sustratos (casarilla).



**Fotografía 4.** Pesado de los sustratos (cáscara).



**Fotografía 5.** Mezcla de los sustratos.



**Fotografía 6.** Construcción del sistema cerrado.



**Fotografía 7.** Montando los tanques.



**Fotografía 8.** Sistema cerrado tipo reactor.



**Fotografía 9.** Construcción sistema abierto.



**Fotografía 10.** Sistema abierto tipo pila.

### **ANEXO 8.** Control de las variables físicas en el proceso de compostaje.



**Fotografía 11.** Medición de temperatura y pH.



**Fotografía 12.** Medición de C.E.

**ANEXO 9.** Control de las variables químicas después del proceso de compostaje.

**Fotografía 13.** Tamizado del producto final para sacar impurezas y obtener NPK.



**Fotografía 14.** Medición de M.O.



**Fotografía 15.** Muestras del compost en la estufa.



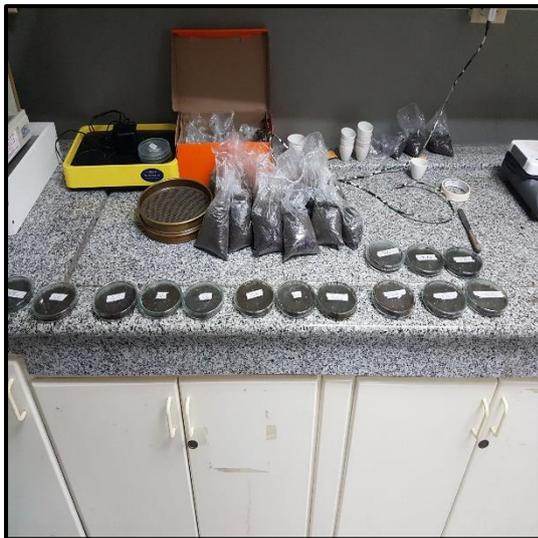
**Fotografía 16.** Cálculo de relación C/N.

**ANEXO 10.** Medición del índice de germinación.

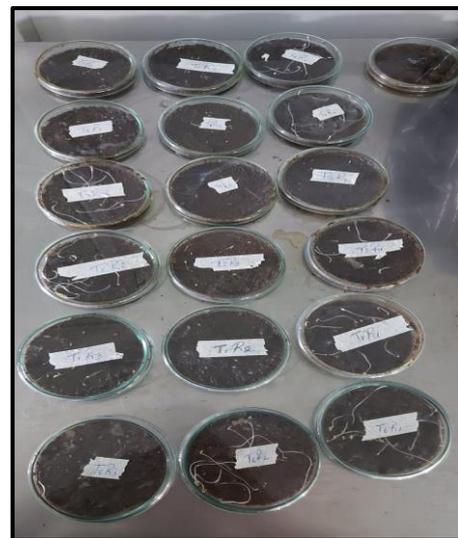
**Fotografía 17.** Lechuga Regina 500 para el IG.



**Fotografía 18.** Preparación de los sustratos para el IG.



**Fotografía 19.** Muestras de compost con semillas de lechuga.



**Fotografía 20.** Índice de germinación (embriones).