

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**INFORME DE TESIS**

“Determinación del porcentaje de la unidad de compostaje que puede ser reemplazado por alperujo para la obtención de un biofertilizante en la localidad de Calientes – Tacna”

**PARA OPTAR:**

**TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL**

**PRESENTADO POR:**

Bach. DIEGO YGOR CHOCANO ROSSI

Bach. CHRISTIAN DANIEL VELIZ ROJAS

TACNA – PERÚ

2019

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA****FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL  
DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

Tesis:

“Determinación del porcentaje de la unidad de compostaje que puede ser reemplazado por alperujo para la obtención de un biofertilizante en la localidad de Calientes – Tacna”

Tesis sustentada y aprobada el 05 de diciembre del 2019; estando el jurado calificador integrado por:

PRESIDENTE:



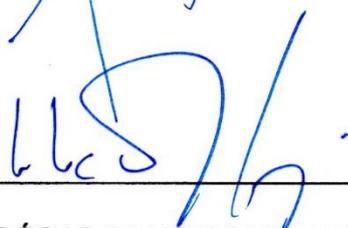
MTRA. MILAGROS HERRERA REJAS

SECRETARIO:



MSc. JOSE OSWALDO CAZORLA GALDOS

VOCAL:



MTRO. CÉSAR HUANACUNI LUPACA

ASESOR:



BLG. CLAUDIA VANESSA CLAVIJO KOC

## DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Yo Diego Ygor Chocano Rossi, en calidad de: Bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificado (a) con DNI 70037032.

Declaro bajo juramento que:

1. Soy autor de la tesis titulada:

“Determinación del porcentaje de la unidad de compostaje que puede ser reemplazado por alperujo para la obtención de un biofertilizante en la localidad de Calientes – Tacna”, la misma que presento para optar: El Título de Ingeniero Ambiental.

2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.

3. La tesis presentada no atenta contra derechos de terceros.

4. La tesis no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.

5. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falsificados, ni duplicados, ni copiados.

Por lo expuesto, mediante la presente asumo frente a LA UNIVERSIDAD cualquier responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como por los derechos sobre la obra y/o invención presentada. En consecuencia, me hago responsable frente a LA UNIVERSIDAD y a terceros, de cualquier daño que pudiera ocasionar, por el incumplimiento de lo declarado o que pudiera encontrar como causa del trabajo presentado, asumiendo todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse de ello en favor de terceros con motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontrasen causa en el contenido de la tesis, libro y/o invento.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones que de mi

acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Privada de Tacna.

Tacna, Perú – 05 de diciembre del 2019

A handwritten signature in blue ink, consisting of stylized cursive letters, positioned above a solid horizontal line.

Diego Ygor Chocano Rossi

DNI: 70037032

## DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Yo Christian Daniel Veliz Rojas, en calidad de: Bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificado (a) con DNI 71051098.

Declaro bajo juramento que:

1. Soy autor de la tesis titulada:

“Determinación del porcentaje de la unidad de compostaje que puede ser reemplazado por alperujo para la obtención de un biofertilizante en la localidad de Calientes – Tacna”, la misma que presento para optar: El Título de Ingeniero Ambiental.

2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.

3. La tesis presentada no atenta contra derechos de terceros.

4. La tesis no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.

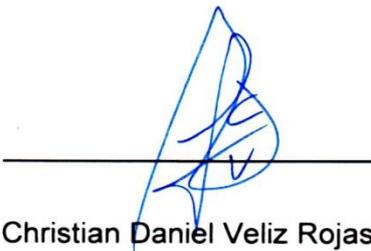
5. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falsificados, ni duplicados, ni copiados.

Por lo expuesto, mediante la presente asumo frente a LA UNIVERSIDAD cualquier responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como por los derechos sobre la obra y/o invención presentada. En consecuencia, me hago responsable frente a LA UNIVERSIDAD y a terceros, de cualquier daño que pudiera ocasionar, por el incumplimiento de lo declarado o que pudiera encontrar como causa del trabajo presentado, asumiendo todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse de ello en favor de terceros con motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontrasen causa en el contenido de la tesis, libro y/o invento.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones que de mi

acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Privada de Tacna.

Tacna, Perú – 05 de diciembre del 2019



Christian Daniel Veliz Rojas

DNI: 71051098

## DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación está dedicado a mi madre, quien siempre me apoyó incondicionalmente en cada paso que he dado en la vida.

Bach. Diego Ygor Chocano Rossi

## DEDICATORIA

A Dios por guiarme en el camino de la sabiduría y por armarme de valor en los momentos más difíciles de mi vida.

A mis queridos padres Jorge Alfonso y Julia Elizabeth por su constante apoyo en mi proceso de aprendizaje y consolidación universitaria.

A mi querida abuela Yulia por sus enseñanzas y a mi abuelo Maximo que desde el cielo guía mis pasos.

A toda mi familia en general que me brinda su apoyo y cariño en todo momento.

Bach. Christian Daniel Veliz Rojas

## AGRADECIMIENTO

Este trabajo de investigación no hubiera sido posible sin el acompañamiento constante y alentador de nuestras familias, de las personas importantes de nuestras vidas, quienes confían en nosotros y que nos impulsan cada día a lograr grandes cosas.

A los docentes de la Universidad Privada de Tacna – Facultad de Ingeniería, quienes con sus enseñanzas y experiencias han contribuido en nuestra formación profesional.

A la Bióloga Claudia Clavijo, nuestra asesora de tesis, por su valiosa orientación y a su apoyo en la elaboración del presente trabajo de investigación.

Autores.

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	1
ABSTRACT .....	2
INTRODUCCIÓN.....	3
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	4
1.1. Descripción del problema .....	4
1.2. Formulación del problema .....	4
1.2.1. Problema general:.....	4
1.2.2. Problemas específicos: .....	4
1.3. Justificación e importancia.....	4
1.4. Objetivos .....	6
1.4.1.Objetivo general.....	6
1.4.2.Objetivos específicos .....	6
1.5. Hipótesis .....	6
1.5.1.Hipótesis general .....	6
1.5.2.Hipótesis específicas .....	6
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. Antecedentes del estudio .....	7
2.2. Bases teóricas.....	9
2.2.1. Propiedades del alperujo .....	9
2.2.2. Características químicas.....	9
2.2.3. Compostaje aeróbico .....	10
2.2.4. Compost como alternativa de gestión de residuos .....	10
2.2.5. Característica de los residuos a compostar.....	10
2.2.6. Como diseñar y operar un sistema de compostaje aeróbico .....	12
2.2.7. Características climatológicas de la localidad de Calientes.....	14
2.3. Definición de términos .....	14

2.4. Marco Legal .....	16
2.4.1. Ley N° 28611 Ley General del Ambiente .....	16
2.4.2. Ley N° 28245 Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental.....	16
2.4.3. Ley N° 1278 Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos.....	17
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO .....	19
3.1. Tipo y diseño de la investigación.....	19
3.2. Población y/o muestra de estudio.....	19
3.3. Operacionalización de variables.....	20
3.4. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos.....	20
3.4.1. Para la toma de muestras: .....	21
3.4.2. Para evaluar los parámetros en laboratorio:.....	21
3.5. Procesamiento y análisis de datos .....	28
CAPÍTULO IV: RESULTADOS .....	29
4.1. Resultados del parámetro biológico.....	29
4.2. Resultado de la medición de los parámetros físicos .....	30
4.2.1 Humedad .....	30
4.2.2. Temperatura (°C) .....	30
4.2.3. pH.....	32
4.2.4. Relación Carbono: Nitrógeno inicial .....	33
4.2.5. Inocuidad .....	33
4.3. Resultados del cultivo de lechuga (Lactuca sativa) .....	34
4.4. Mapa de Macro localización .....	35
4.5. Mapa de Micro localización .....	36
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN.....	37
5.1. Recuento microbiano.....	37
5.2. Temperatura.....	38
5.3. pH .....	39
5.4. Humedad.....	39

5.5. Relación Carbono/Nitrógeno .....	39
5.6. Análisis de inocuidad.....	41
5.7. Peso fresco .....	41
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES .....	43
CAPÍTULO VII: RECOMENDACIONES .....	44
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45
ANEXOS.....	49

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Mezcla de Materias Primas Iniciales de los experimentos piloto de compostaje de alperujo realizados por la Cooperativa Olivarera de los Pedroches</i> .....	7
Tabla 2. <i>Resumen de Datos Analíticos de los compost de alperujo elaborados por la Cooperativa Olivarera de los Pedroches</i> .....	8
Tabla 3. <i>Porcentaje de Carbono y Nitrógeno de los Productos utilizados en la investigación de Vega, 2015</i> .....	9
Tabla 4. <i>Operacionalización de variables</i> .....	20
Tabla 5. <i>Precisión de la Balanza de acuerdo a la Cantidad de Muestra</i> .....	22
Tabla 6. <i>Cantidad de Muestra a Ensayar de acuerdo al Tamaño de las Partículas</i> .....	23
Tabla 7. <i>Coordenadas de los vértices del terreno de cultivo</i> .....	25
Tabla 8. <i>Valores del Recuento microbiano de cada Tratamiento en todas las fechas de muestreo</i> .....	29
Tabla 9. <i>Porcentaje de Humedad de cada Tratamiento al terminar el proceso de compostaje</i> .....	30
Tabla 10. <i>Temperaturas Registradas de cada Tratamiento en las fechas de muestreo</i> .....	30
Tabla 11. <i>Fases del Proceso de Compostaje de acuerdo a la evolución de la temperatura de cada Tratamiento en las fechas de muestreo</i> .....	30
Tabla 12. <i>Valores de pH de cada Tratamiento en las Fechas Indicadas</i> .....	32
Tabla 13. <i>Relación C/N Inicial del Tratamiento 1 (40%)</i> .....	33
Tabla 14. <i>Relación C/N Inicial del Tratamiento 2 (60%)</i> .....	33
Tabla 15. <i>Relación C/N Inicial del Tratamiento 3 (80%)</i> .....	33

Tabla 16. <i>Resultados del Análisis de Inocuidad realizado a cada Tratamiento</i> .....	33
Tabla 17. <i>Resumen estadístico del Peso Fresco de las Lechugas</i> .....	34
Tabla 18. <i>ANOVA de los Pesos Frescos por Tratamiento</i> .....	34
Tabla 19. <i>Prueba de Múltiples Rangos para el Peso Fresco por Tratamiento</i> .....	34
Tabla 20. <i>Diferencias Estimadas entre cada par de Medias</i> .....	34

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ejemplo de la aproximación de la relación C/N. Fuente: Roman, et al. (2013) .....	24
Figura 2. Diseño de plantación. Fuente: Elaboración propia. ....	25
Figura 3. Distribución de los Biofertilizantes en el Área de Cultivo. Fuente: Elaboración propia. ....	26
Figura 4. Evolución en escala logarítmica de la carga microbiana de cada Tratamiento durante el proceso de compostaje. Fuente: Elaboración propia. ....	29
Figura 5. Evolución de la Temperatura (°C) durante el proceso de compostaje. Fuente: Elaboración propia. ....	31
Figura 6. Evolución del pH de los 3 Tratamientos durante el proceso de compostaje. Fuente: Elaboración propia. ....	32
Figura 7. Comparación de los valores de las medias de pesos frescos correspondientes a cada tratamiento. Los valores con la misma letra no son significativamente diferentes. Fuente: Elaboración propia. ....	35

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A. Matriz de Consistencia .....	50
Anexo B. Solicitud de servicios de laboratorio a la DESA-Tacna .....	51
Anexo C. Resultados del Análisis de Inocuidad .....	52
Anexo D. Promedio de la temperatura normal para Tacna.....	53
Anexo E. Registro Fotográfico .....	54

## RESUMEN

La industria olivícola no deja de crecer en el Perú, por ende, los residuos que ésta genera, también se incrementan proporcionalmente. El más importante de estos residuos es el alperujo, el cual acarrea una complicada disposición final por sus características biológicas y fisicoquímicas; es por ello que la presente investigación, realizada en la localidad de Calientes, ubicada en el departamento de Tacna, durante los meses de enero a setiembre del 2019, consistió en formar tres unidades de compostaje (“Tratamiento 1”, “Tratamiento 2” y “Tratamiento 3”) compuestas de alperujo, estiércol vacuno y vísceras de pescado en distintas proporciones para estudiar la dinámica de la temperatura, el pH y la población microbiana durante el proceso de compostaje, además se determinaron otros parámetros como la relación Carbono/Nitrogeno inicial, el porcentaje de humedad del compost maduro y un análisis de inocuidad; por último se midió la eficiencia de los biofertilizantes resultantes de cada unidad de compostaje aplicándolos como enmienda a un cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L. var. *crispa* L. tipo iceberg) con un diseño completamente al azar para luego analizar el peso fresco de estas especies vegetales. Después de 12 semanas que duró el proceso de compostaje, se concluye que hasta el 80% de una unidad de compostaje de estiércol vacuno y vísceras de pescado puede ser reemplazada por alperujo para la obtención de un biofertilizante. En cuanto a la evaluación de parámetros fisicoquímicos y biológicos, solamente el “Tratamiento 1” cuya composición estaba dada de la siguiente forma: 40% Alperujo + 6.4% Restos de pescado + 53.6% Estiércol vacuno, obtuvo todos sus resultados dentro de los parámetros de a la Norma Chilena de calidad de Compost NCH 2880.

*Palabras clave:* Alperujo, unidades de compostaje, estiércol vacuno, vísceras de pescado, temperatura, pH, población microbiana, peso fresco.

## ABSTRACT

The olive industry does not stop growing in Peru, therefore, the waste it generates also increases proportionally. The most important of these wastes is the alperujo, which carries a complicated final disposition due to its biological and physicochemical characteristics; that is why the present investigation, carried out in the town of Calientes, located in the department of Tacna, during the months of January to September of 2019, consisted of forming three composting units ("Tratamiento 1", "Tratamiento 2" and "Tratamiento 3") composed of alperujo, manure bovine and fish entrails in different proportions to study the dynamics of temperature, pH and microbial population during the composting process, in addition, other parameters were determined such as the initial Carbon / Nitrogen ratio, the percentage of moisture in the mature compost and a safety analysis. Finally, the efficiency of the biofertilizers resulting from each composting unit was measured by applying them as an amendment to a lettuce crop (*Lactuca sativa* L. var. *crispa* L. iceberg type) and the fresh weight of these plant species was analyzed. After 12 weeks of the composting process, it is concluded that up to 80% of a composting unit of manure bovine and fish viscera can be replaced by alperujo to obtain a biofertilizer. As for the evaluation of physicochemical and biological parameters, only "Tratamiento 1" whose composition was given as follows: 40% Alperujo + 6.4% Fish entrails + 53.6% Beef manure, obtained all its results within the parameters of the Chilean Standard of Compost Quality NCH 2880.

*Keys words:* Alperujo, composting units, manure bovine, fish entrails, temperature, pH, microbial population, fresh weight.

## INTRODUCCIÓN

Actualmente el mayor productor de aceite de oliva es España, aportando con una cuota del 50% del volumen total producido en el mundo, el resto es producido por otros países europeos, algunos del norte africano, unos pocos de medio oriente y finalmente se encuentran Australia y Sudamérica; dentro de este último grupo se encuentra el Perú, que dado el crecimiento de su producción olivarera desde el 2013 ha logrado alcanzar a Chile, coronándose como los mejores productores de la zona. Existen cuatro regiones olivícolas en el Perú: Arequipa, Lima, Ica y Tacna, siendo esta última la principal productora nacional de aceituna (*Olea europaea*), esta situación conlleva a que a la par se desarrolle una industria basada en sus subproductos, siendo el principal el aceite de oliva. Como consecuencia de esta actividad se genera una gran cantidad de residuos que no son fácilmente tratables por sus características fisicoquímicas, por ende estos residuos son desechados en botaderos no autorizados de la ciudad de Tacna generando un impacto ambiental negativo dado que al descomponerse genera malos olores, su contenido de agua y aceites forma charcos donde proliferan vectores de distintas enfermedades como moscas, zancudos, mosquitos, etc. y además deterioran las propiedades y características de los suelos. En tal sentido, con el propósito de mitigar o evitar este impacto en los ecosistemas de la región, es menester el desarrollo de nuevas alternativas para el manejo de este tipo de desechos provenientes de la industria olivícola. Por ello la presente investigación plantea la elaboración de un biofertilizante empleando estos residuos (alperujo) con el fin de dar a conocer a los productores de esta industria otra alternativa para la disposición final de dichos desechos propios de su actividad económica. Cabe resaltar que no existen estudios sobre el uso del alperujo para compostaje en la región de Tacna, tan solo el conocimiento de algunos agricultores sobre esta práctica; por lo que se requiere una profundización en el tema con el fin de estandarizar la producción del biofertilizante y evitar impactos adversos al ambiente en la ciudad de Tacna.

## **CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1. Descripción del problema**

Tacna tiene una participación del 78% en la producción nacional de aceituna (Dirección de Estadística Agraria, 2018) y el 20% de dicha producción, debido a sus características (tamaño pequeño, tipo, precio, etc.), se convierte en aceite de oliva (Gestión, 2017). Esta transformación genera un residuo que no es fácilmente tratable por sus propiedades fisicoquímicas, dicho residuo es el alperujo, cuya disposición final en nuestra localidad por lo general se da en botaderos no autorizados, generando un impacto ambiental negativo puesto que emana malos olores y afecta las propiedades del suelo.

### **1.2. Formulación del problema**

#### **1.2.1. Problema general:**

¿Cuál es el porcentaje de la unidad de compostaje que puede ser reemplazada por alperujo para la obtención de un biofertilizante en la localidad de Calientes – Tacna?

#### **1.2.2. Problemas específicos:**

- ¿Cómo evolucionan los parámetros fisicoquímicos de los biofertilizantes a diferentes concentraciones de alperujo?
- ¿Cómo evolucionan los parámetros microbiológicos de los biofertilizantes a diferentes concentraciones de alperujo?
- ¿Cuál es la relación Carbono/Nitrógeno inicial de los biofertilizantes a base de alperujo?
- ¿Cómo influye el porcentaje de alperujo en el peso fresco de un cultivo de lechugas?

### **1.3. Justificación e importancia**

En el Perú, hasta el mes de septiembre el año 2019 se habían exportado 1 736 toneladas de aceite de oliva (Rivera, 2019) y dado que por cada tonelada de aceite de oliva se generan 4 toneladas de alperujo (Monetta, 2015), se puede estimar que se produjeron alrededor de 6 944 toneladas de alperujo sin considerar el consumo local. Estas cifras demuestran que en las regiones olivícolas del Perú existe una gran cantidad de este residuo de la industria olivícola que, dado su difícil tratamiento o disposición final, la cual tiene un costo superior comparado con otros residuos

sólidos, está siendo mal manejado o dispuesto. Además, debe considerarse que este subproducto es estacional dado que está ligado a la cosecha de aceituna la cual se da entre los meses de marzo y octubre, incrementando drásticamente la producción de alperujo en este periodo y reduciéndose el resto del año.

En cuanto a Tacna, existen 7 empresas formales y afiliadas a ProOlivo (organización privada sin fines de lucro que facilita y promueve el sector olivícola peruano) que se dedican al procesamiento de aceituna para la obtención de aceite de oliva; existen más empresas dedicadas a este rubro, pero no se encuentran asociadas a ProOlivo o, en su defecto, son informales. Esta situación dificulta la obtención de una cifra exacta de productores de aceite de olivo o el volumen total que aporta la región al mercado local. Sin embargo, si sólo se considera a estas 7 empresas y contemplando que una empresa grande genera 4000 toneladas de alperujo en una campaña (Monetta, 2015), cuando mínimo se generarían 28 000 toneladas de alperujo al año en esta región.

En Tacna, el tratamiento que se le da actualmente al alperujo consiste en secarlo y comercializo una vez que está totalmente deshidratado como suplemento alimenticio de ganado bovino, sin embargo, dada la duración y baja rentabilidad de este proceso, normalmente es dispuesto estando fresco en basureros o botaderos no autorizados donde produce malos olores y se descompone en un largo periodo de tiempo, afectando las propiedades del suelo donde ha sido depositado. Por ello, tratarlo como un fertilizante orgánico, representa una alternativa ecológicamente amigable frente al uso de fertilizantes químicos y le da un enfoque sostenible a la industria olivícola, mitigando el impacto del alperujo en los suelos a la vez que es reinsertado en el ciclo productivo de la aceituna.

En cuanto a un tema social, el compostaje del alperujo significa una mejora en la calidad de vida de las personas que residen a inmediaciones de las plantas dedicadas a la producción de aceite de oliva dado que al compostar este residuo se reduce drásticamente su emisión de malos olores a la atmósfera.

En términos económicos, el tratamiento actual más intensivo es el secado del alperujo, sin embargo, este método si bien no implica grandes costos operativos fuera de las horas máquina para el transporte y carguío, acarrea costos más difíciles de calcular como la pérdida de fertilidad de los suelos. En cuanto a la rentabilidad, el alperujo seco es mucho menos rentable que otros abonos como los estiércoles; por lo expuesto, se puede afirmar que esta metodología empleada para tratar el alperujo

es muy poco atractiva y a su vez es incompatible con una economía verde, siendo la mejor alternativa compostar este residuo.

#### **1.4. Objetivos**

##### **1.4.1. Objetivo general**

- Determinar el porcentaje de la unidad de compostaje que puede ser reemplazado por alperujo en la obtención de un biofertilizante en la localidad de Calientes – Tacna

##### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Evaluar parámetros fisicoquímicos (temperatura, pH, humedad) del proceso de compostaje con diferentes concentraciones de alperujo.
- Determinar el número total de microorganismos (recuento de bacterias heterótrofas) del proceso de compostaje con diferentes concentraciones de alperujo.
- Determinar la cantidad de coliformes presentes en los biofertilizantes.
- Calcular la relación C/N inicial (Carbono/Nitrógeno) de los biofertilizantes.
- Determinar el peso fresco de un cultivo de Lechuga (*Lactuca Sativa*) aplicando enmiendas de los biofertilizantes elaborados con diferentes concentraciones de alperujo.

#### **1.5. Hipótesis**

##### **1.5.1. Hipótesis general**

- Se puede elaborar un biofertilizante cuya composición sea como máximo un 60% de alperujo.

##### **1.5.2. Hipótesis específicas**

- La concentración de alperujo sí influye en los parámetros fisicoquímicos durante la elaboración del compost.
- La concentración de alperujo limita el desarrollo de microorganismos.
- El número de coliformes encontradas en el biofertilizante a base de alperujo será menor que  $1 \times 10^3$  NMP/g.
- La relación C/N varía dependiendo de la concentración de alperujo.
- La aplicación de una enmienda del biofertilizante de alperujo a un cultivo de lechuga incrementa su peso fresco.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes del estudio

A nivel mundial, en las últimas 2 décadas se han venido realizando experiencias innovadoras de compostaje con los residuos provenientes de la industria olivícola, muchas de ellas realizadas por iniciativa propia de las empresas de este rubro tales como olivicultores, empresas procesadoras de aceite de oliva y derivados, entre otros.

#### - Nivel internacional:

En Jaén, La Cooperativa de Sierra Génave (1999) realizó un experimento de compostaje de alperujo a escala real por lo que obtuvieron el premio Núñez de Prado a la Investigación en Agricultura ecológica en el año 1999. Para realizar el compostaje se armaron pilas con diferentes proporciones siendo la de 14/8/2 en volúmenes de mezcla inicial de alperujo – hojín - estiércol la que dio los mejores resultados.

En Córdoba, la Cooperativa Olivarera los Pedroches (OLIPE) hizo varios experimentos piloto de compostaje de alperujo realizándolo en 4 pilas. Para la elaboración de éstas y su adecuado proceso de compostaje (aireación, pH, humedad, etc.) se utilizaron las materias primas mencionadas en la Tabla 1, los resultados analíticos de la prueba piloto se adjuntaron con la Tabla 2 (Martinez, 2005) (Martinez, 2004).

Tabla 1  
*Mezcla de Materias Primas Iniciales de los experimentos piloto de compostaje de alperujo realizados por la Cooperativa Olivarera de los Pedroches*

Montón	Materia prima (kg)				
	Alperujo (AL)	Hojín (H)	Estiércol (E)	Compost (C)	Harina (Hn)
AL, E, H, 8:2:1	80	10	20		
AL, C, H, 4,7:2:1	70	10		30	
AL, H, E, C, 4:1,3:1;1	60	20	15	15	
AL, H, Hn, 26,7:5,7:1	80	17			3

Extraído de "Evolucion temporal del madurado de alperujo procedente de almazara", Martinez, 2004.

Tabla 2  
*Resumen de Datos Analíticos de los compost de alperujo elaborados por la Cooperativa Olivarrera de los Pedroches*

	AL, E, H	AL, C, H	AL, H, E, C	AL, H, Hn
Humedad (%)	25,2	27,6	24,8	26,2
pH	8,41	8,24	8,31	7,85
CE (dS/m)	5,32	3,72	4,33	4,7
Materia orgánica total (%)	48,70	45,3	47,7	64,3
Nitrógeno k (%)	1,89	1,86	2,12	2,89
C/N	15,17	14,34	13,25	13,09
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	0,40	0,24	0,33	0,32
K (K <sub>2</sub> O) (%)	2,46	1,83	1,86	2,2
Ca (CaO) (%)	3,41	2,72	3,25	1,94
Mg (%)	4,88	0,17	0,32	0,16
Na (%)	0,4	1,69	4,64	2,63
Fe (mg kg <sup>-1</sup> )	1,519	1960	1363	991
Cu (mg kg <sup>-1</sup> )	36,30	31,9	32,2	126,6
Mn (mg kg <sup>-1</sup> )	82	71,8	82,7	56,2
Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	300	321	242	141

Extraído de "Evolucion temporal del madurado de alperujo procedente de almazara", Martinez, 2004.

En Granada se desarrolló un proyecto de investigación a cargo de la Federación Andaluza de Empresas Cooperativas Agrarias (FAECA) con la consejería de Agricultura y Pesca donde se ensayaron dos tratamientos distintos de materias primas para compostar alperujo, el primero fue solamente alperujo y el segundo, una mezcla de restos de poda del olivo con alperujo; en este tratamiento se mezclaron las materias primas empleadas hasta que se obtuvo un 50% de cada componente. El mejor resultado fue el segundo tratamiento dada su mayor cantidad de materia orgánica y menor relación C/N, incluso aplicándolo directamente al suelo a razón de 40 toneladas por hectárea generó un incremento en el pH, ennegrecimiento del suelo y elevación de los niveles de Carbono, Nitrógeno, Fósforo y Potasio (Lopez & Ramírez, 2002)

En el puerto de Guaymas en Sonora, México, existe una experiencia de compostaje con restos de pescado provenientes del puerto de la ciudad, arrojando como uno de los resultados de la investigación una lista de elementos con sus respectivos análisis de relación C/N que fueron empleados en la composta de los restos de la industria pesquera (Vega, 2015).

Tabla 3  
*Porcentaje de Carbono y Nitrógeno de los Productos utilizados en la investigación de Vega, 2015*

Material	%Nitrógeno	%Carbono	%Humedad
Estiércol de vaca	2,4	45,6	81
Residuos vegetales	2,7	51,3	87
Paja de trigo	0,4	50,8	12
Aserrín	0,24	100	39
Residuos de pesca	10,6	38	76

Extraído de "Elaboración de composta a partir de residuos de pescado, utilizando el método de pilas con aireación mecánica", Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C. , 32, 2015

## 2.2. Bases teóricas

### 2.2.1. Propiedades del alperujo

Desde una perspectiva agrícola el alperujo ha sido considerado muchas veces como un producto útil en el compostaje ya que se ha estimado que sus propiedades físicas y químicas son favorables para dicho proceso (Romero, *et al.*, 1998). Estas propiedades se resumen en: potencial valor como fertilizante mineral y orgánico, su bajo valor económico, la gran generación de este residuo en determinadas temporadas (cosecha y elaboración de aceite de olivo) en la localidad y al difícil tratamiento y/o disposición final del alperujo (Monetta, 2015).

### 2.2.2. Características químicas

El alperujo es el residuo proveniente de la elaboración de aceite de oliva al emplear el sistema de centrifugación de 2 fases y está conformado por el hueso y la pulpa de las aceitunas trituradas, es de textura semisólida con poca porosidad total y humedad elevada, de 55% a 75%, posee también importantes niveles de materia orgánica, más del 90%, e ingentes cantidades de lignina, celulosa, hemicelulosa, lípidos, glúcidos y fenoles. Su pH varía de ligero a fuertemente ácido y su conductividad eléctrica oscila de 1 a 5 dS m<sup>-1</sup>. En cuanto a los nutrientes presentes en su composición tenemos que es rico en potasio, bajo en nitrógeno, fósforo, calcio y magnesio, con una considerable relación C/N, elevado contenido de hierro y pobre contenido de metales pesados. Al alperujo se le ha atribuido características tóxicas para las plantas y antimicrobianas dado su elevado contenido de fenoles y lípidos por lo que su aplicación directa suele tener un impacto negativo al suelo (Alburquerque, *et al.*, 2004).

### **2.2.3. Compostaje aeróbico**

El compostaje consiste descomponer la materia orgánica por medio de agentes biológicos. Si durante el proceso biológico aseguramos una apropiada humedad y temperatura el resultado del proceso de compostaje será un material higiénico y homogeneizado, fácilmente asimilable por las plantas.

Roman, P., Martínez, M., & Pantoja, A. (2013) describen en el Manual de compostaje del agricultor de la Food and Agriculture Organization (FAO):

Es posible interpretar el compostaje como el sumatorio de procesos metabólicos complejos realizados por parte de diferentes microorganismos, que, en presencia de oxígeno, aprovechan el nitrógeno (N) y el carbono (C) presentes para producir su propia biomasa. En este proceso, adicionalmente, los microorganismos generan calor y un sustrato sólido, con menos C y N, pero más estable, que es llamado compost. Al descomponer el C, el N y toda la materia orgánica inicial, los microorganismos desprenden calor medible a través de las variaciones de temperatura a lo largo del tiempo. Según la temperatura generada durante el proceso, se reconocen tres etapas principales en un compostaje, además de una etapa de maduración de duración variable. Las diferentes fases del compostaje se dividen según la temperatura, en: Fase Mesófila, Fase Termófila o de Higienización, Fase de Enfriamiento o Mesófila II y Fase de Maduración (p.23-24).

### **2.2.4. Compost como alternativa de gestión de residuos**

Utilizar el alperujo para elaborar un biofertilizante es una gestión ambientalmente amigable de este residuo de la industria olivícola dado que se obtienen beneficios ecológicos y económicos. Sin embargo, se propone la mezcla de alperujo con otros materiales empleados típicamente en esta práctica para poder mejorar su potencial de compostaje (Canet & Albiach, 2008). Siendo la mezcla de materia orgánica con alperujo la que produce el compost con mejores características físicas y químicas (Cegarra, et al., 2006).

### **2.2.5. Característica de los residuos a compostar**

#### **- Estructura y Tamaño de los Residuos**

Muchos materiales como el estiércol se desestructuran rápidamente cuando ingresan a un proceso de compostaje mientras que otros son difíciles de degradar como materiales leñosos y restos vegetales dado que en este caso existe una pobre superficie de contacto entre los microorganismos y los deshechos.

Por ejemplo, si es que contamos con material vegetal de pequeño diámetro proveniente de podas debemos incorporar otros materiales de distintas estabilidades estructurales para que crezca la superficie de contacto. Otra alternativa es agregar estiércol en una proporción que nos asegure una adecuada relación C/N inicial (Tchobanoglous, Theisen, & Vigil, 1996).

### **- Relación Carbono-Nitrógeno (C/N)**

Relación C/N significa el número de unidades de Carbono por unidades de Nitrógeno que tiene un material, siendo el carbono quien aporta la energía a los microorganismos y el nitrógeno el elemento principal para la síntesis proteica. La relación adecuada del C/N, ayudara a un buen crecimiento y reproducción.

Una óptima relación C/N para iniciar el compostaje es 25:1 por lo que es aceptable una relación C/N inicial de 20 a 30, si la relación C/N es de 40 quiere decir que tiene más Carbono y si la relación es de 10 podemos decir que tiene relativamente más Nitrógeno.

Por lo general los residuos vegetales presentan una relación C/N elevada, las plantas tienen menos nitrógeno en su fase madura y más cuando son jóvenes, los residuos con origen animal tienen una relación C/N muy baja. Podemos encontrar tablas donde se obtienen estas relaciones de acuerdo a los residuos, en el caso que se desconozcan estas relaciones se recomienda realizar estas determinaciones en el laboratorio (Tchobanoglous, *et al.*, 1996).

### **- Humedad**

El volumen de humedad de los restos orgánicos crudos es variable, como el caso del estiércol, donde su volumen de humedad estará relacionado con la dieta del animal. Si es que la humedad de entrada supera el 50% del material, se debe reducir ésta antes de iniciar el proceso de compostaje. Para esto se puede extender el material húmedo y dejar que se evapore el contenido excedente de agua o mezclarlo con materiales secos teniendo en cuenta la relación C/N de la mezcla.

Para una adecuada biodegradación con predominio de microorganismos de respiración aeróbica la humedad debe estar comprendida en un margen del 15% al 35%. Una humedad que exceda el máximo índice mencionado producirá una disminución del aire existente entre los fragmentos de materia orgánica volviendo el medio anaerobio y favoreciendo los metabolismos fermentativos, así como el desarrollo de bacterias anaeróbicas; por otro lado, si la humedad está por debajo del 10%, la actividad biológica en general disminuye y se ralentiza el proceso de compostaje (Tchobanoglous, *et al.*, 1996).

### - El pH

Los valores de pH aceptados por las bacterias son generalmente amplios, encontrando incluso algunos grupos en el extremo de acidez o basicidad, sin embargo, son los valores cercanos al pH neutro (valores de pH entre 6,5 y 7,5) los que más favorecen el desarrollo de las mismas, mientras que, niveles de pH menores a 5,5 cohiben el desarrollo de la mayoría de éstas y del mismo modo sucede en ambientes con pH superior a 8. Por otro lado, es poco común encontrar desechos orgánicos agrícolas que tengan un pH muy alejado del neutro, aunque podría darse el caso con los residuos provenientes de la agroindustria. Estos residuos se caracterizan por su nivel de pH mayormente ácido (Tchobanoglous, *et al.*, 1996).

### - La Aireación

La aireación y la relación C/N son los parámetros más importantes en un compostaje aeróbico. Si existe mala aireación los niveles de oxígeno bajan al 20%, que es la concentración normal que existe en el aire, por lo que se producen condiciones propicias la fermentación y la respiración anaeróbica. En campo, este escenario se determina con la aparición de malos olores, producto de la putrefacción de los residuos orgánicos, dando origen al hidruro de azufre o un olor a amoníaco, además en un proceso de compostaje con una buena relación C/N, este escenario también se puede generar por la alta humedad o por haber compactado demás el material por lo que se procede a detener los riegos y a mover los materiales para volver a formar las pilas ( Tchobanoglous, *et al.*, 1996).

### - Análisis de Coliformes

Se llaman coliformes fecales o termotolerantes a las bacterias Gram negativas que pertenecen a las enterobacterias que son capaces de fermentar lactosa y pueden producir gas a 44,5°C. Según la EPA si se encuentra un alto número de este grupo, es posible que existan bacterias patógenas como *Escherichia coli* verotoxigénicas, *Salmonella spp* y *Shigella spp* (Roman, *et al.*, 2013).

## 2.2.6. Como diseñar y operar un sistema de compostaje aeróbico

### - Aspectos cualitativos

Es primordial caracterizar adecuadamente los residuos que vamos a compostar, también debe considerarse que éstos se encuentren libres de contaminantes químicos, especialmente de metales pesados. Este escenario es poco usual cuando se emplean residuos agropecuarios, pero si se presenta en los desechos de la agroindustria y en los desechos domiciliarios (MGA & Pravia, 1999).

### **- Aspectos cuantitativos**

La cuantificación de las cantidades de los residuos con las que dispondremos para el compostaje, la frecuencia de ingreso de los residuos, son datos muy importantes, porque nos permiten calcular el área necesaria de compostaje y así hallar la Unidad de Compostaje.

Es recomendable conducirse con las medidas volumétricas y así hallar los parámetros: Densidad (D), Masa (M) y Volumen (V), con la fórmula  $D=M/V$ , expresando el volumen en metros cúbicos ( $m^3$ ) y la Masa en toneladas (Ton) (MGA & Pravia, 1999).

### **- Unidad de Compostaje (Uc)**

La unidad de compostaje es la cantidad de residuos que emplearán para conformar una pila. Es la cantidad de residuos que podremos usar en la conformación de una pila de compostaje y que entrará al sistema como una unidad independiente de las demás (MGA & Pravia, 1999).

### **- Diseño del Camellón o Parva**

No se recomienda formar pilas de pequeñas cantidades, porque las variaciones de temperatura en estas pequeñas cantidades son bruscas así tampoco formar pilas con una base menor a los 2m. Se debe considerar como altura de la pila la mitad de la dimensión base, esto nos permitirá tener una relación Superficie/ Volumen óptima (MGA & Pravia, 1999).

### **- El Tiempo de Compostaje (Tc)**

Es el periodo de tiempo transcurrido desde que se forma la pila de compostaje hasta que se obtiene un compost estable.

El Tc, puede variar dependiendo de las características de los residuos, la temperatura ambiente, el porcentaje de humedad relativa, el control microbiológico y fisicoquímico. El Tc, puede ser establecido y controlado con un alto grado de certeza mediante algunas técnicas mencionadas anteriormente (MGA & Pravia, 1999).

### **- Área de Compostaje**

El área designada para conformar las pilas se denomina cancha o patio de compostaje. Cuando se selecciona el área de compostaje hay que tener en cuenta que:

- Las áreas designadas deben ser los puntos topográficos más altos del terreno y jamás las partes bajas del mismo (MGA & Pravia, 1999).

- La pendiente del terreno, entre los puntos más altos y más bajos, debe ser mayor de 1% de modo tal que sea posible eliminar el exceso de agua de lluvia además de permitir la recolección de líquidos lixiviados propios del proceso de compostaje (MGA & Pravia, 1999).

- La impermeabilidad de los suelos debe ser tomada en cuenta ya que posiblemente las aguas subterráneas se puedan llegar a contaminar. En el caso que el suelo no tenga una impermeabilidad adecuada, se debe realizar la impermeabilización del mismo manualmente (MGA & Pravia, 1999).

#### **- Preparación de las Canchas**

Luego de determinar el área donde se llevará a cabo el proceso de compostaje empleando los criterios desarrollados previamente, se procederá a limpiar el terreno procurando eliminar cualquier elemento que pueda representar una interferencia para el proceso como ramas, piedras, arbustos, basura, etc. Finalmente, el terreno debe ser compactado y nivelado. Además, a modo de sistema de drenaje se recomienda hacer una canaleta en el perímetro de las canchas para evacuar y coleccionar los lixiviados. Existen más opciones para diseñar el sistema de drenaje dependiendo de las características del terreno y su tamaño (MGA & Pravia, 1999).

#### **- Dimensión de la Cancha**

La dimensión de la cancha depende estrictamente del diseño de las pilas de compostaje, éstas tienen una base cuya área conocemos, a esta área debemos sumarle entonces la superficie de los pasillos que oscila entre 2m y 2,5m y la de las canaletas de drenaje (MGA & Pravia, 1999).

### **2.2.7. Características climatológicas de la localidad de Calientes**

El proyecto de investigación se realizó en la localidad de Calientes, ésta pertenece al distrito de Pachía que a su vez se encuentra en la provincia y departamento de Tacna. De acuerdo al Mapa de Clasificación Climática del SENAMHI el código para esta zona es D(o,i,p)B'2H2 y sus características son: Zona de clima semi árido, templado, con deficiencia de lluvia en otoño, invierno y primavera, con humedad relativa calificada como seco. La altitud del lugar donde se establecieron las unidades de compostaje asciende hasta los 1220 metros sobre el nivel del mar.

### **2.3. Definición de términos**

- **Abono orgánico:** El abono orgánico abarca los abonos elaborados con estiércol de ganado, compost rurales y urbanos, otros desechos de origen

animal y residuos de cultivos. Los abonos orgánicos son materiales cuya eficacia para mejorar la fertilidad y la productividad de los suelos ha sido demostrada (Roman, *et al.*, 2013).

- **Bacterias termófilas:** Grupo de bacterias que pueden vivir, trabajar y multiplicarse durante el compostaje entre los rangos de temperatura de 40°C a 70°C (Roman, *et al.*, 2013).
- **Biofertilizante:** Fertilizante orgánico natural que ayuda a proporcionar a las plantas todos los nutrientes que necesitan y a mejorar la calidad del suelo creando un entorno microbiológico natural (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2009).
- **Compost maduro:** Compost que ha finalizado todas las etapas del compostaje (Roman, *et al.*, 2013).
- **Compost semimaduro:** Compost que no ha terminado la etapa termófila del proceso de compostaje (Roman, *et al.*, 2013).
- **Descomposición:** Degradación de la materia orgánica (Roman, *et al.*, 2013).
- **Materia orgánica:** Residuos vegetales, animales y de microorganismos en distintas etapas de descomposición, células y tejidos de organismos del suelo y sustancias sintetizadas por los seres vivos presentes en el suelo (Roman, *et al.*, 2013).
- **Microorganismos:** Organismos vivos microscópicos (hongos, incluyendo levaduras, bacterias incluyendo actinobacterias, protozoos como nemátodos etc.) (Roman, *et al.*, 2013).
- **Nitrógeno:** Elemento indispensable para las plantas que puede estar en forma orgánica (proteínas y compuestos orgánicos), o inorgánica (nitrato o amonio) (Roman, *et al.*, 2013).
- **Orgánico:** Un compuesto orgánico es una sustancia que contiene carbono e hidrógeno y, habitualmente, otros elementos como nitrógeno, azufre y oxígeno. Los compuestos orgánicos se pueden encontrar en el medio natural o sintetizarse en laboratorio. La expresión sustancia orgánica no equivale a sustancia natural. Decir que una sustancia es natural significa que es esencialmente igual que la encontrada en la naturaleza. Sin embargo, orgánico significa que está formado por carbono (Roman, *et al.*, 2013).
- **Relación C/N:** Cantidad de carbono con respecto a la cantidad nitrógeno que tiene un material (Roman, *et al.*, 2013).

## **2.4. Marco Legal**

### **2.4.1. Ley N° 28611 Ley General del Ambiente**

- **Artículo 91.- Del recurso suelo**

El Estado es responsable de promover y regular el uso sostenible del recurso suelo, buscando prevenir o reducir su pérdida y deterioro por erosión o contaminación. Cualquier actividad económica o de servicios debe evitar el uso de suelos con aptitud agrícola, según lo establezcan las normas correspondientes.

- **Artículo 113.- De la calidad ambiental**

113.1 Toda persona natural o jurídica, pública o privada, tiene el deber de contribuir a prevenir, controlar y recuperar la calidad del ambiente y de sus componentes.

113.2 Son objetivos de la gestión ambiental en materia de calidad ambiental:

a. Preservar, conservar, mejorar y restaurar, según corresponda, la calidad del aire, el agua y los suelos y demás componentes del ambiente, identificando y controlando los factores de riesgo que la afecten.

b. Prevenir, controlar, restringir y evitar según sea el caso, actividades que generen efectos significativos, nocivos o peligrosos para el ambiente y sus componentes, en particular cuando ponen en riesgo la salud de las personas.

c. Recuperar las áreas o zonas degradadas o deterioradas por la contaminación ambiental.

d. Prevenir, controlar y mitigar los riesgos y daños ambientales procedentes de la introducción, uso, comercialización y consumo de bienes, productos, servicios o especies de flora y fauna.

e. Identificar y controlar los factores de riesgo a la calidad del ambiente y sus componentes.

g. Promover el desarrollo de la investigación científica y tecnológica, las actividades de transferencia de conocimientos y recursos, la difusión de experiencias exitosas y otros medios para el mejoramiento de la calidad ambiental.

### **2.4.2. Ley N° 28245 Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental**

- **Artículo 1.- Del objeto de la Ley** La presente Ley tiene por objeto asegurar el más eficaz cumplimiento de los objetivos ambientales de las entidades públicas; fortalecer los mecanismos de transectorialidad en la gestión

ambiental, el rol que le corresponde al Consejo Nacional del Ambiente - CONAM, y a las entidades sectoriales, regionales y locales en el ejercicio de sus atribuciones ambientales a fin de garantizar que cumplan con sus funciones y de asegurar que se evite en el ejercicio de ellas superposiciones, omisiones, duplicidad, vacíos o conflictos.

- **Artículo 75.- Del manejo integral y prevención en la fuente**

75.1 El titular de operaciones debe adoptar prioritariamente medidas de prevención del riesgo y daño ambiental en la fuente generadora de los mismos, así como las demás medidas de conservación y protección ambiental que corresponda en cada una de las etapas de sus operaciones, bajo el concepto de ciclo de vida de los bienes que produzca o los servicios que provea, de conformidad con los principios establecidos en el Título Preliminar de la presente Ley y las demás normas legales vigentes.

- **Artículo 77.- De la promoción de la producción limpia**

77.1 Las autoridades nacionales, sectoriales, regionales y locales promueven, a través de acciones normativas, de fomento de incentivos tributarios, difusión, asesoría y capacitación, la producción limpia en el desarrollo de los proyectos de inversión y las actividades empresariales en general, entendiendo que la producción limpia constituye la aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva e integrada para los procesos, productos y servicios, con el objetivo de incrementar la eficiencia, manejar racionalmente los recursos y reducir los riesgos sobre la población humana y el ambiente, para lograr el desarrollo sostenible.

- **Artículo 119.- Del manejo de los residuos sólidos**

119.1 La gestión de los residuos sólidos de origen doméstico, comercial o que siendo de origen distinto presenten características similares a aquellos, son de responsabilidad de los gobiernos locales. Por ley se establece el régimen de gestión y manejo de los residuos sólidos municipales.

119.2 La gestión de los residuos sólidos distintos a los señalados en el párrafo precedente son de responsabilidad del generador hasta su adecuada disposición final, bajo las condiciones de control y supervisión establecidas en la legislación vigente.

#### **2.4.3. Ley Nº 1278 Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos**

- **Artículo 4.- Material de descarte proveniente de actividades productivas**

Se considera material de descarte a todo material resultante de los procesos de las actividades productivas de bienes y servicios, siempre que constituya un

insumo directamente aprovechable en la misma actividad, otras actividades productivas, la investigación y el desarrollo de nuevas tecnologías y materiales a nivel nacional.

- **Artículo 7.- Minimización en la fuente** Los generadores de residuos sólidos orientan el desarrollo de sus actividades a reducir al mínimo posible la generación de residuos sólidos. Los generadores de residuos no municipales deben incluir en su Plan de Minimización y Manejo de Residuos Sólidos, estrategias preventivas orientadas a alcanzar la minimización en la fuente. Dicho Plan forma parte del IGA.
- **Artículo 9.- Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PLANRES)** El PLANRES es un instrumento nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos basados en el cumplimiento de metas establecidas en el Plan Nacional de Acción Ambiental (PLANAA) y los compromisos internacionales relacionados a la materia. Los objetivos del PLANRES se encuentran dirigidos a contribuir con la protección de la salud de las personas y mejorar la calidad ambiental a nivel nacional. Dicho Plan se aprueba por Decreto Supremo, a propuesta del MINAM, con el refrendo de los sectores involucrados. El PLANRES se actualiza cada cinco (05) años, en base al análisis del cumplimiento de sus objetivos específicos y metas
- **Artículo 12.- Acuerdo de Producción Limpia** Los Acuerdos de Producción Limpia son instrumentos de promoción que tienen como objetivo introducir en las actividades productivas un conjunto de acciones que trasciendan el cumplimiento de la legislación vigente, de modo que se mejore las condiciones en las cuales el titular realiza sus actividades, a fin de lograr la prevención o minimización de la generación de los residuos sólidos. Los titulares de las actividades productivas, extractivas y de servicios pueden suscribir voluntariamente Acuerdos de Producción Limpia en materia de residuos sólidos con el MINAM y/o la autoridad competente, de corresponder. Dicho acuerdo no sustituye las obligaciones que establece la normatividad ambiental. Las autoridades sectoriales promueven el otorgamiento de incentivos para los titulares de actividades productivas, extractivas y de servicios que suscriban estos acuerdos; sin perjuicio de las competencias de las entidades de fiscalización ambiental en la materia. El OEFA, en el marco de la normativa vigente y conforme a sus competencias, puede otorgar incentivos por el cumplimiento de los Acuerdos de Producción Limpia.
- **Artículo 51.- Segregación en la fuente** Los generadores de residuos sólidos no municipales están obligados a segregar los residuos sólidos en la fuente.

## CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

### 3.1. Tipo y diseño de la investigación

El presente trabajo de investigación tiene un diseño cuasiexperimental dado que se manipula solamente una variable independiente con la finalidad de medir sus efectos en varias variables dependientes. Este diseño pertenece a las investigaciones de tipo experimental que provienen de un enfoque cuantitativo.

Para esta investigación el Grupo experimental ( $G_1$ ) serán las unidades de compostaje; la variable independiente ( $X_1$ ) es la concentración de alperujo, y las variables dependientes son los parámetros fisicoquímicos ( $O_1$ ), los parámetros biológicos ( $O_2$ ) y el peso fresco ( $O_3$ ). Por lo tanto, el diseño se puede esquematizar así:

$$G_1 \quad X_1 \quad O_1 O_2 O_3$$

### 3.2. Población y/o muestra de estudio

La muestra de estudio para el desarrollo de esta investigación son las 3 unidades de compostaje considerándose éstas como el grupo experimental.

### 3.3. Operacionalización de variables

Tabla 4  
*Operacionalización de variables*

Variable	Definición operacional	Dimensión	Indicador
Concentración de alperujo	Subproducto de las almazaras durante la extracción de aceite de oliva.	Kilogramos de alperujo que se utilizara en cada pila.	Kg de alperujo / tratamiento
	pH	pH obtenido en cada pila.	Escala de pH
Parámetros fisicoquímicos	Humedad	El porcentaje de humedad de cada pila.	% Humedad / tratamiento
	Temperatura	Temperatura promedio por cada recolección de muestras.	Temperatura en °C/ tratamiento
	Relación C/N	Porcentaje de carbono por el porcentaje de nitrógeno de cada material.	% C / % N
Parámetros biológicos	R.M.A.M.V.	Número de colonias bacterianas.	Nº de colonias / tratamiento
	Análisis de inocuidad (Coliformes fecales)	Número más probable de coliformes fecales por gramo de muestra.	NMP / g
Peso fresco	Peso de una muestra, incluido el del agua que contiene.	Peso fresco de las lechugas en kilogramos por cada tratamiento.	Peso fresco (Kg) / Tratamiento

Elaboración propia.

### 3.4. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos

Se realizaron tres tratamientos con diferentes concentraciones de alperujo, 40%, 60% y 80%, para determinar si existen diferencias significativas de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos entre los tratamientos. Además, los biofertilizantes elaborados se aplicaron como enmienda a un cultivo de lechuga

(*Lactuca sativa*) para establecer si hay diferencias significativas entre el desarrollo de las especies vegetales dependiendo de la enmienda que reciban.

Se utilizó el método de compostaje Indore empleando alperujo, estiércol seco de ganado bovino y restos de pescado sin huesos o espinas y en la siguiente proporción:

**T1 (Tratamiento 1):** 40% Alperujo + 6,4% Restos de pescado + 53,6% Estiércol

**T2 (Tratamiento 2):** 60% Alperujo + 6,4% Restos de pescado + 33,6% Estiércol

**T3 (Tratamiento 3):** 80% Alperujo + 6,4% Restos de pescado + 13,6% Estiércol

Para el cálculo y diseño de las pilas se recurrió a la metodología desarrollada por Roman, *et al.* (2013) en el Manual de compostaje del agricultor de la Food and Agriculture Organization así como algunos elementos del diseño desarrollados por Peña, *et al.* (2002).

#### **3.4.1. Para la toma de muestras:**

a) Las muestras para medir la humedad y hacer el análisis de inocuidad se tomaron al concluir el proceso de compostaje.

b) Las muestras para medir el pH, la temperatura y los recuentos microbianos se tomaron en los siguientes períodos de tiempo luego de mezclar los materiales.

- A los 7 días
- A los 15 días
- A los 30 días
- A los 45 días
- A los 60 días
- A los 90 días

c) Se recolecto una muestra por cada poza de compostaje en cada fecha que se ha determinado.

d) El volumen de las muestras recolectadas fue de 200g para poder realizar todas las pruebas de laboratorio.

#### **3.4.2. Para evaluar los parámetros en laboratorio:**

##### **- Parámetros biológicos:**

Como parámetro biológico realizamos un recuento microbiano por dilución en placa. El fundamento de este método es que una célula viable inoculada en un adecuado medio de cultivo se multiplicará desarrollando colonias cuantificables a simple vista, arrojando datos fácilmente interpretables. Este método consistió en

realizar varias diluciones con distintas concentraciones de una muestra de suelo o en este caso de compost en un diluyente propicio para luego incorporar una alícuota de cada disolución en placas con medios de cultivo sólidos que fueron llevadas posteriormente a incubadoras en determinadas condiciones ambientales. La metodología de dilución en placa permitió que se desarrollen colonias aisladas procedentes de una célula o grupo de células que se considerarán como una bacteria (Fernández, *et al.*, 2006).

#### - Parámetros físicos

- **Determinación de la humedad:**

El método más común en laboratorio es el secado en horno, donde la humedad del suelo expresada en porcentaje está dada por la relación entre el peso del agua de una muestra y el peso de la parte sólida de la muestra:

$$w = (Ww / Ws) \times 100$$

Donde:

w = contenido de humedad expresado en %

Ww = peso del agua existente en la masa de suelo

Ws = peso de las partículas sólidas

Procedimiento: Se tomó una muestra de suelo, de acuerdo al máximo tamaño de las partículas, según muestra la tabla 4. Después se colocó la muestra húmeda en un envase previamente tarado ( $M_r$ ), para luego pesar la muestra húmeda más el envase, resultando  $M_h$ . Finalmente se colocó el conjunto dentro del horno durante 1 día, con una temperatura de  $110^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ . Pasado dicho tiempo, se halló el peso del envase con la muestra seca ( $M_s$ ) (Fernández, *et al.*, 2006).

Tabla 5  
*Precisión de la Balanza de acuerdo a la Cantidad de Muestra*

<b>Cantidad de muestra a ensayar (g)</b>	<b>Precisión de la balanza (g)</b>
100	0,01
100 - 1000	0,1
1000	1

Extraído del "Manual de técnicas de análisis de suelos",  
Fernández *et al.*, 2006.

Tabla 6  
*Cantidad de Muestra a Ensayar de acuerdo al Tamaño de las Partículas*

Tamaño máximo de las partículas (mm)	Cantidad a ensayar (g)
50	3000
25	1000
12.5	750
5	500
2	100
0.5	10

Extraído del "Manual de técnicas de análisis de suelos",  
 Fernández et al., 2006.

Cálculos:

- Para calcular el contenido de humedad (w) de la muestra:

$$w = (Mh - Ms) / (Ms - Mr) \times 100$$

Donde:

Mh = peso recipiente más la muestra de suelo húmedo (g)

Ms = peso recipiente más la muestra de suelo seca (g)

Mr = peso recipiente (g)

- **Determinación de la temperatura:**

Para interpretar la temperatura del suelo se introdujo un termómetro en la pila de compostaje. Primeramente, a 5cm de profundidad y se dejó ahí por 3 minutos para que la medición sea estable, se registró la temperatura obtenida y se repitió el proceso, pero a 10cm de profundidad. Con un termómetro digital registramos la temperatura ambiental una sola vez mientras se tomó las temperaturas del suelo. Al finalizar se procedió a retirar los termómetros y se taparon los agujeros hechos (Viguera, 2004).

- **Determinación del pH:**

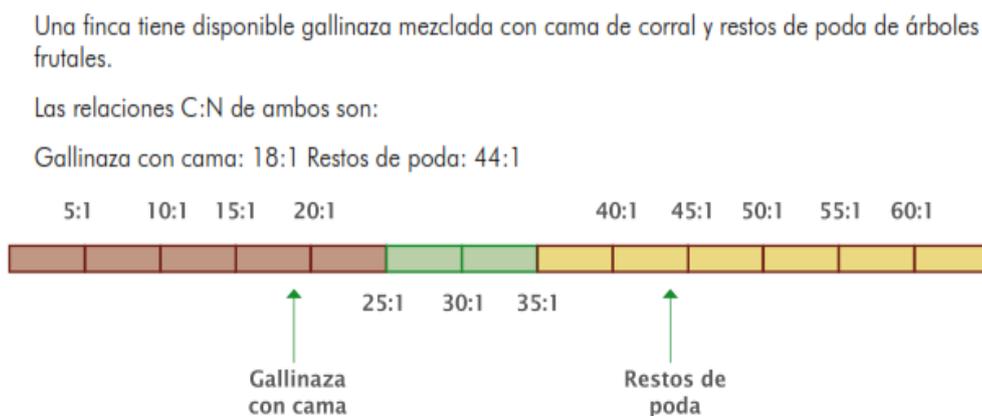
Con el multi-parámetro HANNA HI 8424 se desarrollo la metodología expuesta por Fernández , *et al.*, (2006) que consiste en:

- 1) Se pesó 1g de suelo y se colocó en un vaso de precipitado de 25 ml.
- 2) Se agregó 10ml de agua destilada.
- 3) Se agito y deajo reposar 10minutos.
- 4) Se ajustó el potenciómetro con las soluciones amortiguadoras.
- 5) Pasados los 10minutos, se midió el pH con el potenciómetro.

- **Determinación de la relación C/N**

La condición ideal de la relación C/N para empezar el compostaje es de 25/1 a 35/1. En base a los materiales seleccionados para el compostaje se obtuvo la relación C/N de estos por separado para realizar un estimado de proporcionalidad, obteniendo así la cantidad de cada material que se aplicó en las pilas de compostaje.

Este cálculo se tuvo de referencia ya que siempre se tendrá un margen de error al no considerarse ajustes para la humedad de los materiales o la disponibilidad del carbono o nitrógeno (Roman, *et al.*, 2013).



Una proporción 1:1 de ambas dará una relación cercana a 30:1, por lo cual, el operario puede hacer capas intercaladas de los dos materiales, o mezclar con una pala el material y hacer la pila.

Figura 1. Ejemplo de la aproximación de la relación C/N. Fuente: Roman, *et al.* (2013)

- **Análisis de Coliformes**

El análisis de las coliformes fecales se realizó contratando el servicio del Laboratorio de Salud Ambiental (Anexos B y C).

- **La lechuga (*Lactuca sativa*) como bioindicador**

Para poder comprobar la eficacia en campo de los biofertilizantes de alperujo, se cultivarán 7260 plantas de lechuga distribuidas en treinta parcelas de 220 plantas cada una, con la siguiente distribución del área de cultivo: 10 filas de parcelas por 3 columnas de parcelas. Se seleccionó al azar un número de parcelas igual para cada tratamiento. Además, se incluyó una hilera de lechugas donde no se aplicó ningún tipo de enmienda, es decir se cultivó sobre el terreno sin adicionar alguno de los biofertilizantes elaborados, denominándose a las especies vegetales contenidas en este espacio como: "Blanco".

- **Para el cultivo de la especie vegetal *Lactuca sativa* L. var. *crispa* L. tipo iceberg**

Para el desarrollo del cultivo de lechugas se requieren determinados parámetros y/o condiciones de suelo, climáticas, etc. La investigación que realizamos utilizó como marco de referencia para estos tópicos toda la información y metodologías desarrolladas por Tarigo, Repetto & Acosta (2004) y Saavedra del R. *et al.* (2017).

No se empleó semillas, si no plántulas de lechuga adquiridas en vivero y el diseño de plantación, a sugerencia del Ing. Agrónomo contratado, fue el siguiente:

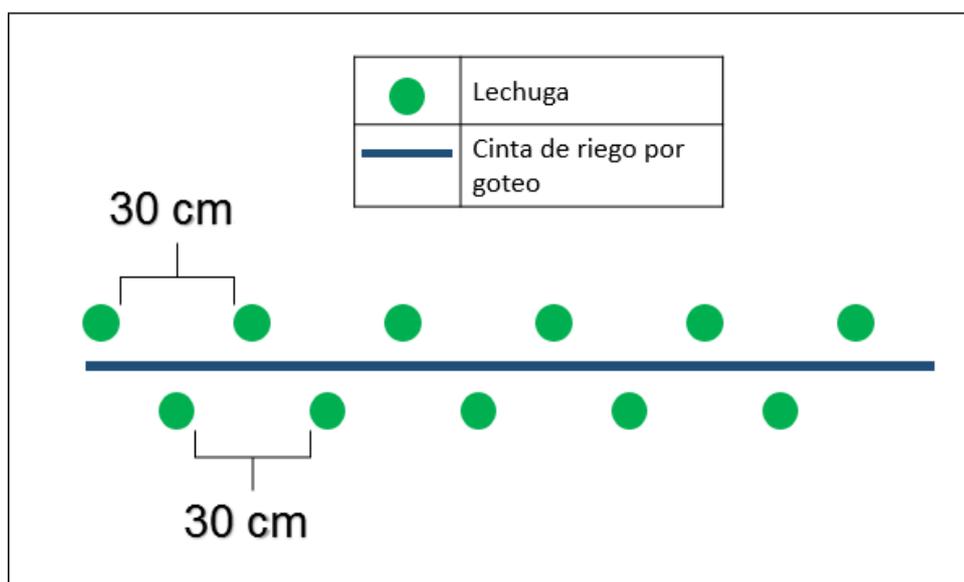


Figura 2. Diseño de plantación. Fuente: Elaboración propia.

Se seleccionó un terreno rectangular cuyas dimensiones son 24 metros de frente por 46m de fondo, que tenía aproximadamente 1 año y 8 meses sin albergar ningún tipo de cultivo y además contaba con los elementos necesarios para la aplicación de riego tecnificado. Las coordenadas de los vértices de dicho terreno son:

Tabla 7  
Coordenadas de los vértices del terreno de cultivo

	Este	Norte
<b>Punto 1</b>	619720.8	1976171.7
<b>Punto 2</b>	619756.8	1976152.4
<b>Punto 3</b>	619747.5	1976130.7
<b>Punto 4</b>	619707.3	1976153.8

Elaboración propia.

Para incorporar los biofertilizantes de alperujo al terreno donde se plantaron las especies vegetales:

- Primero se ensacaron los biofertilizantes, dando un total de 22 sacos de entre 20kg y 25Kg c/u por tratamiento.
- Luego se trasladaron dichos sacos hasta el terreno seleccionado, donde se procedió a incorporar los biofertilizantes (verter un saco en el suelo y acto seguido esparcir el contenido uniformemente en una determinada área) de acuerdo a la siguiente plantilla, donde cada rectángulo está conformado por 2 sacos de entre 20kg y 25 kg:

		Cantidad de filas		
		11	11	11
Cantidad de lechugas	22	T3	T2	T1
	22	T1	T1	T2
	22	T2	T3	T3
	22	T1	T2	T1
	22	T2	T3	T2
	22	T3	T1	T3
	22	T1	T3	T1
	22	T3	T2	T2
	22	T2	T2	T3
	22	T1	T2	T1

Figura 3. Distribución de los Biofertilizantes en el Área de Cultivo. Fuente: Elaboración propia.

#### - Para la medición de los parámetros Agronómicos (Peso fresco)

Cuando las lechugas llegaron a la etapa de desarrollo reproductivo, aproximadamente entre la semana 8 y 9 (DuPont, 2015) las lechugas fueron cortadas a ras de suelo al promediar las 10 de la mañana para poder determinar el peso fresco. El tiempo que pasó entre cortar y pesar cada lechuga fue menos de 2 minutos. El último día de recojo las lechugas tenían una abundante cantidad de gotas de rocío

causada por una leve garúa la noche anterior, razón por la cual se pospuso el recojo para la tarde.

**- Materiales y/o instrumentos**

a) Para evaluar los parámetros biológicos del Biofertilizante:

- Solución salina 0,85% estéril
- Agar PCA
- Etanol
- 165 placas Petri
- Matraz
- Balanza de precisión
- Varilla de vidrio
- Micropipeta de 1000µl
- Puntas para micropipeta
- Espátula
- Mechero
- Agua destilada
- Autoclave
- Estufa

b) Para evaluar los parámetros físicos y químicos del Biofertilizante:

- Horno de secado que pueda mantener una temperatura constante de 110°C
- Termómetro
- Crisoles
- pH-metro
- Agua destilada
- Mufla
- Tiras reactivas de pH

c) Para el desarrollo del cultivo:

- Pala
- Picota
- Rastrillo
- GPS
- Plántulas de Lechuga

d) Para la medición de los parámetros agronómicos:

- Libreta de campo
- Cinta métrica
- Hoz
- Balanza romana o digital
- Saquillos, manta o carretilla
- Cámara fotográfica

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

Se procesaron los datos obtenidos en cada muestreo con ayuda del software Microsoft Excel el cual nos ayudó a analizar los datos y graficarlos. En el caso del peso fresco empleamos el Software Statgraphics centurión para realizar la comparación de medias de peso fresco entre tratamientos puesto que los resultados de esta variable dependiente representan un diseño completamente al azar, adicionalmente se elaboró una prueba de múltiples rangos para determinar si existen diferencias significativas entre cada una de las medias de pesos frescos.

Además, los datos obtenidos en el desarrollo del compostaje se tabularon para ser comparados con tablas similares obtenidas de la bibliografía previamente mencionada, de forma que pudimos comprobar que se lo logró el correcto compostaje con el alperujo.

En el caso de los parámetros vegetales también se procedió a tabular la información a modo de facilitar su interpretación.

## CAPÍTULO IV: RESULTADOS

### 4.1. Resultados del parámetro biológico

**Tabla 8.**

*Valores del Recuento microbiano de cada Tratamiento en todas las fechas de muestreo*

DÍA	Tratamiento 1 (40%)	Tratamiento 2 (60%)	Tratamiento 3 (80%)
15	$3,00 \times 10^{-8}$	$3,85 \times 10^{-8}$	$5,70 \times 10^{-8}$
30	$3,25 \times 10^{-8}$	$1,57 \times 10^{-9}$	$2,74 \times 10^{-9}$
45	$1,20 \times 10^{-7}$	$4,00 \times 10^{-6}$	$4,57 \times 10^{-8}$
60	$5,80 \times 10^{-6}$	$3,57 \times 10^{-7}$	$5,20 \times 10^{-7}$
90	$2,46 \times 10^{-7}$	$3,11 \times 10^{-7}$	$5,38 \times 10^{-7}$

Elaboración propia.

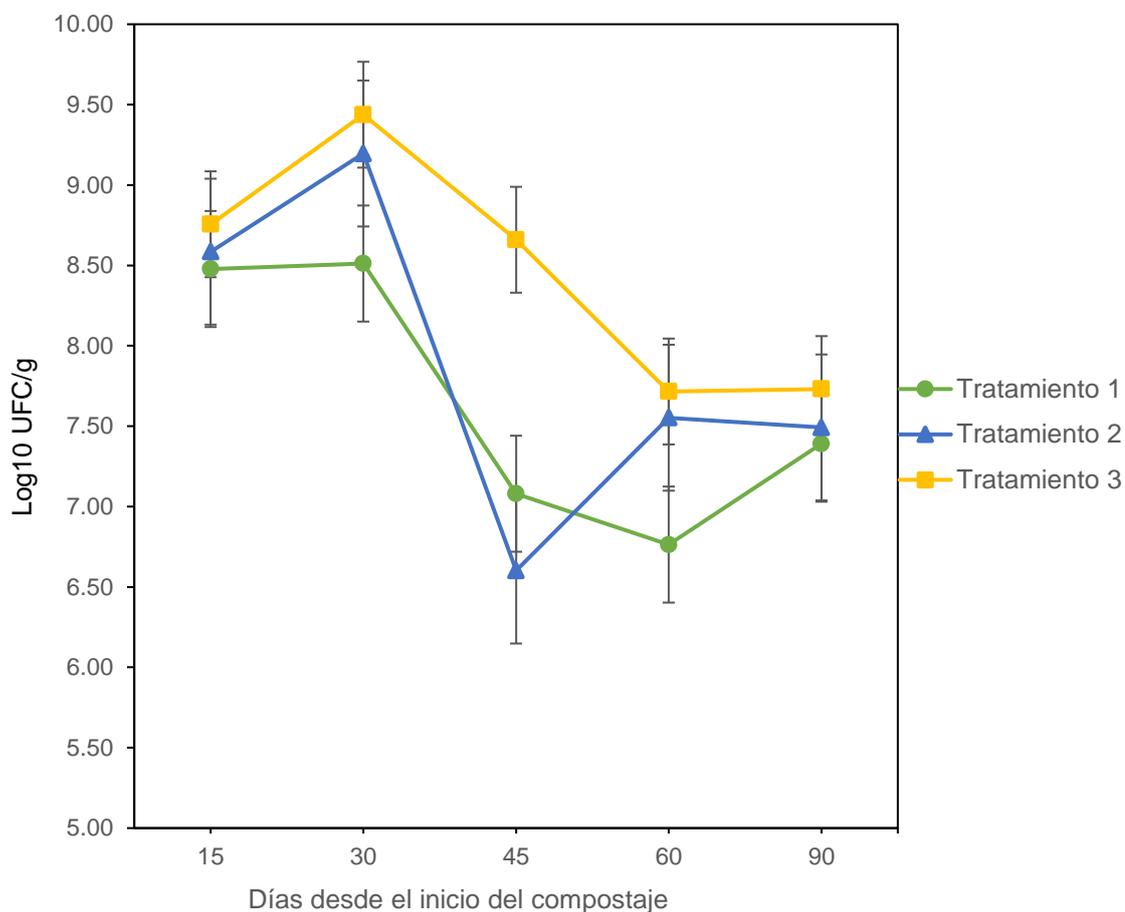


Figura 4. Dinámica de la carga microbiana de cada Tratamiento durante el proceso de compostaje en escala logarítmica. Fuente: Elaboración propia.

## 4.2. Resultado de la medición de los parámetros físicos

### 4.2.1 Humedad

Tabla 9  
*Porcentaje de Humedad de cada Tratamiento al terminar el proceso de compostaje*

Tratamiento	Porcentaje de humedad
T1 (40%)	37
T2 (60%)	38
T3 (80%)	42

Elaboración propia.

### 4.2.2. Temperatura (°C)

Tabla 10  
*Temperaturas Registradas de cada Tratamiento en las fechas de muestreo*

Día	Tratamiento 1 (40%)	Tratamiento 2 (60%)	Tratamiento 3 (80%)
7	40°C	39°C	42°C
15	58°C	60°C	57°C
30	46°C	44°C	43°C
45	44°C	41°C	40°C
60	26°C	20°C	21°C
90	23°C	21°C	23°C

Elaboración propia.

Tabla 11  
*Fases del Proceso de Compostaje de acuerdo a la evolución de la temperatura de cada Tratamiento en las fechas de muestreo*

Tratamientos	Días transcurridos desde el inicio del proceso de compostaje					
	7	15	30	45	60	90
T1 (40%)	40°C	58°C	46°C	44°C	26°C	25°C
T2 (60%)	39°C	60°C	44°C	41°C	20°C	21°C
T3 (80%)	42°C	57°C	43°C	40°C	21°C	23°C
Fases de compostaje	Termófila		Mesófila		Maduración	
Temperatura de cada fase	40°C - 65°C		15°C - 40°C		Temperatura ambiente	

Elaboración propia.

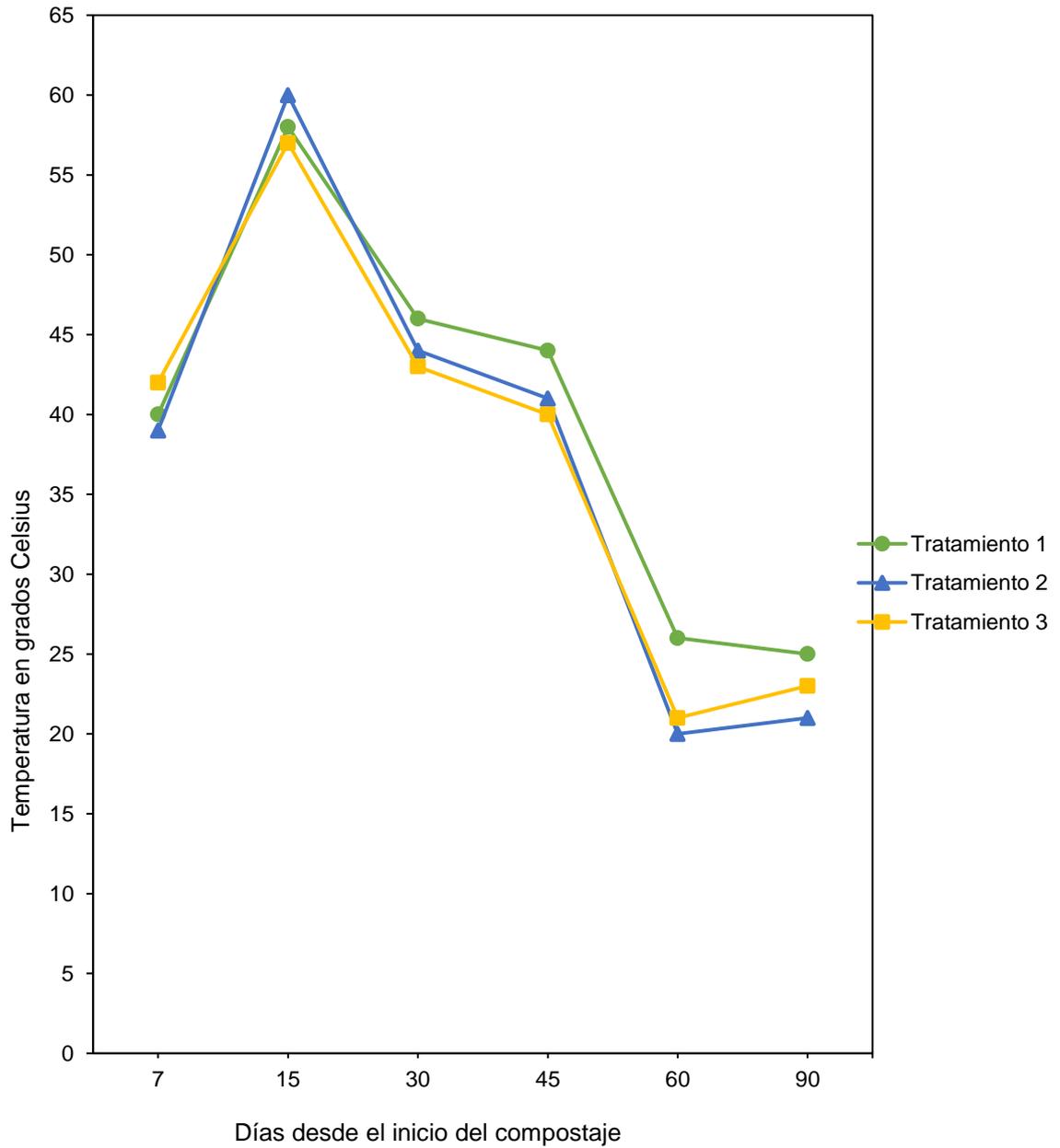


Figura 5. Evolución de la Temperatura (°C) durante el proceso de compostaje.  
Fuente: Elaboración propia.

### 4.2.3. pH

Tabla 12

Valores de pH de cada Tratamiento en las Fechas Indicadas

Día	Tratamiento 1 (40%)	Tratamiento 2 (60%)	Tratamiento 3 (80%)
7	4,7	5	4,3
15	8,7	9	8,2
30	7,3	6,9	7
45	7,2	7,1	7,5
60	6,1	6,5	6
90	5,8	5,9	5,5

Elaboración propia.

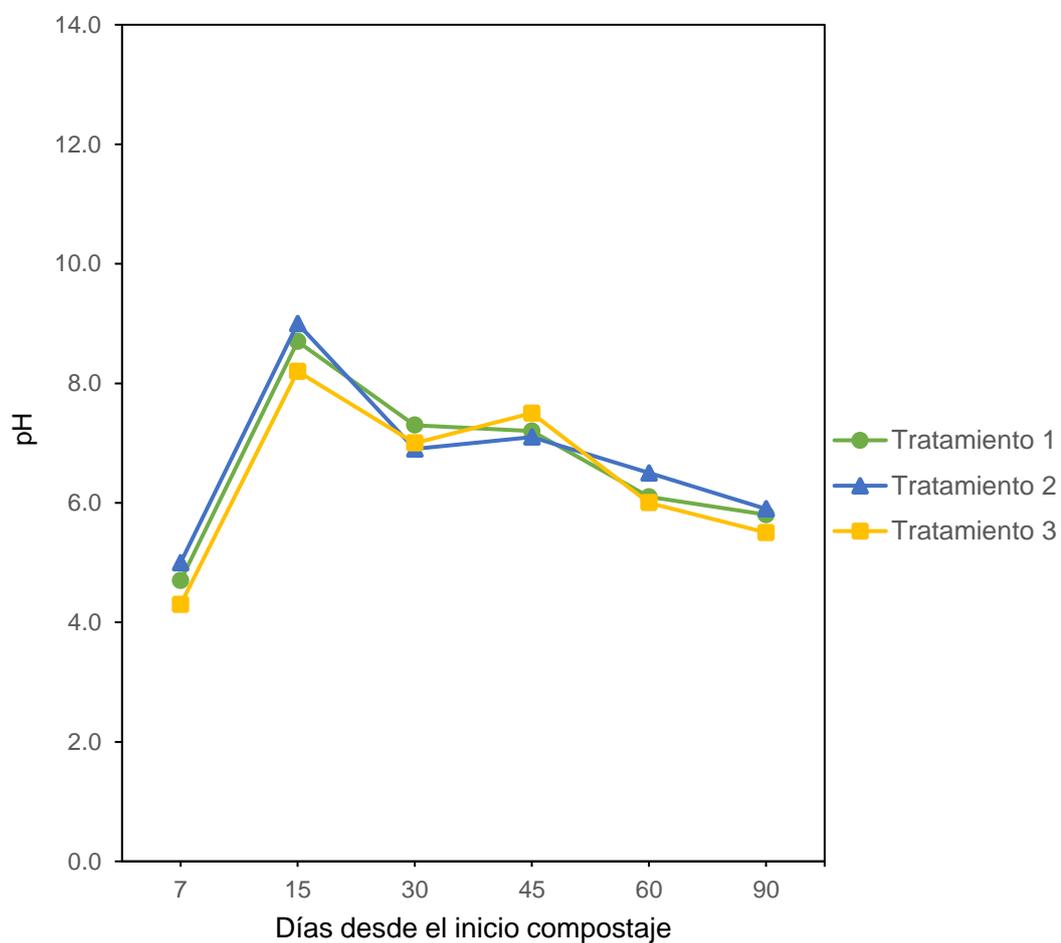


Figura 6. Evolución del pH de los 3 Tratamientos durante el proceso de compostaje. Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2.4. Relación Carbono: Nitrógeno inicial

Tabla 13  
*Relación C/N Inicial del Tratamiento 1 (40%)*

Ingredientes	%H <sub>2</sub> O	Peso (kg)	%Carbono	%Nitrógeno	Ratio C/N
Estiércol Vacuno	20	268	45	2	22,5
Alperujo	60	200	80	1	80
Pescado	76	32	38	10	3,8
Resultado					27,90

Elaboración propia.

Tabla 14  
*Relación C/N Inicial del Tratamiento 2 (60%)*

Ingredientes	%H <sub>2</sub> O	Peso (kg)	%Carbono	%Nitrógeno	Ratio C/N
Estiércol Vacuno	20	168	45	2	22,5
Alperujo	60	300	80	1	80
Pescado	76	32	38	10	3,8
Resultado					34,23

Elaboración propia.

Tabla 15  
*Relación C/N Inicial del Tratamiento 3 (80%)*

Ingredientes	%H <sub>2</sub> O	Peso (kg)	%Carbono	%Nitrógeno	Ratio C/N
Estiércol Vacuno	20	68	45	2	22,5
Alperujo	60	400	80	1	80
Pescado	76	32	38	10	3,8
Resultado					44,96

Elaboración propia.

#### 4.2.5. Inocuidad

Tabla 16  
*Resultados del Análisis de Inocuidad realizado a cada Tratamiento*

Tratamiento	Número de Coliformes fecales (NMP/g)
T1 (40%)	$2 \times 10^2$
T2 (60%)	$2,4 \times 10^4$
T3 (80%)	$4,5 \times 10^4$

Elaboración propia.

### 4.3. Resultados del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*)

Tabla 17

*Resumen estadístico del Peso Fresco de las Lechugas*

Tratamiento	Recuento	Promedio	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo
Blanco	137	789,75	183,30	415	1235
T1 (40%)	815	925,86	172,25	445	1510
T2 (60%)	971	924,07	180,96	385	1485
T3 (80%)	1065	893,62	208,76	360	1610
Total	2988	907,55	191,47	360	1610

“Blanco” hace referencia a un conjunto de lechugas que fueron cultivadas sin aplicar ninguno de los tres tratamientos desarrollados en el presente trabajo de investigación. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 18

*ANOVA de los Pesos Frescos por Tratamiento*

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	2 646 160	3,00	882 052,00	24,63	0
Intra grupos	106 854 000	2984,00	35 808,80		
Total (Corr.)	109 500 000	2987,00			

Elaboración propia.

Tabla 19

*Prueba de Múltiples Rangos para el Peso Fresco por Tratamiento*

Tratamiento	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Blanco	137	789,74	a
T3 (80%)	1065	893,62	b
T2 (60%)	971	924,07	c
T1 (40%)	815	925,85	c

Elaboración propia.

Tabla 20

*Diferencias Estimadas entre cada par de Medias*

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Blanco - T1	*	-136,11	34,24
Blanco - T2	*	-134,32	33,84
Blanco - T3	*	-103,87	33,66
T1 - T2		1,78	17,61
T1 - T3	*	32,23	17,26
T2 - T3	*	30,45	16,45

El asterisco que se encuentra al lado de los 5 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95.0% de confianza. Fuente: Elaboración propia.

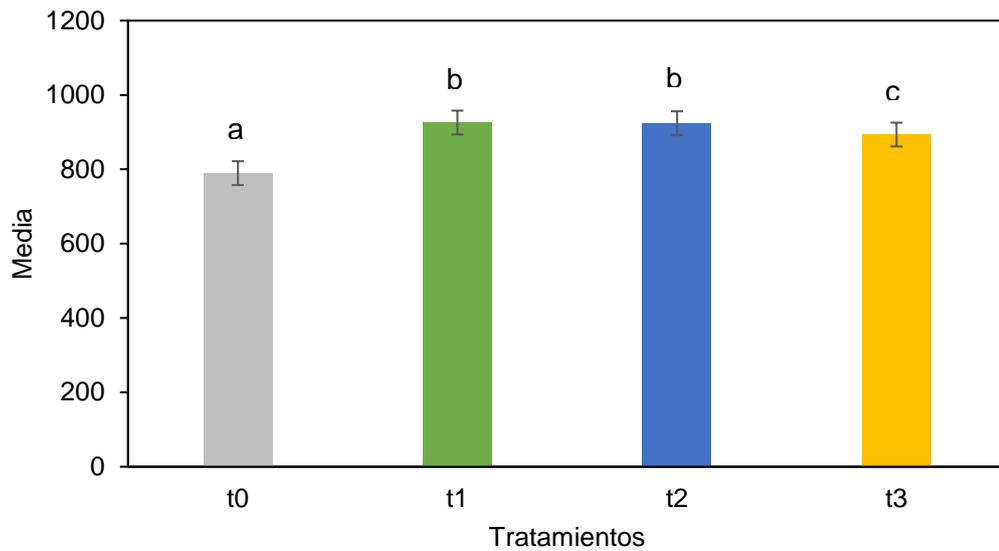


Figura 7. Comparación de los valores de las medias de pesos frescos correspondientes a cada tratamiento. Los valores con la misma letra no son significativamente diferentes. Fuente: Elaboración propia.

#### 4.4. Mapa de Macro localización

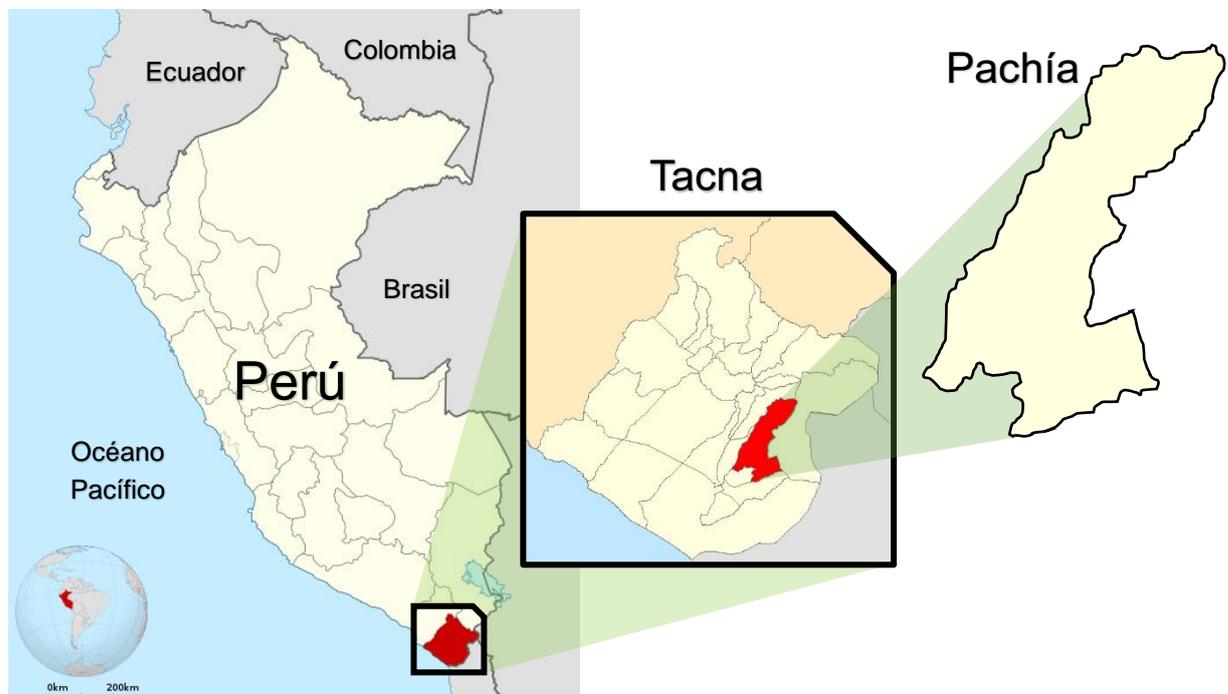


Figura 8. Mapa de Macro localización del lugar donde se llevó a cabo el proceso de compostaje. Fuente: Elaboración Propia.

#### 4.5. Mapa de Micro localización

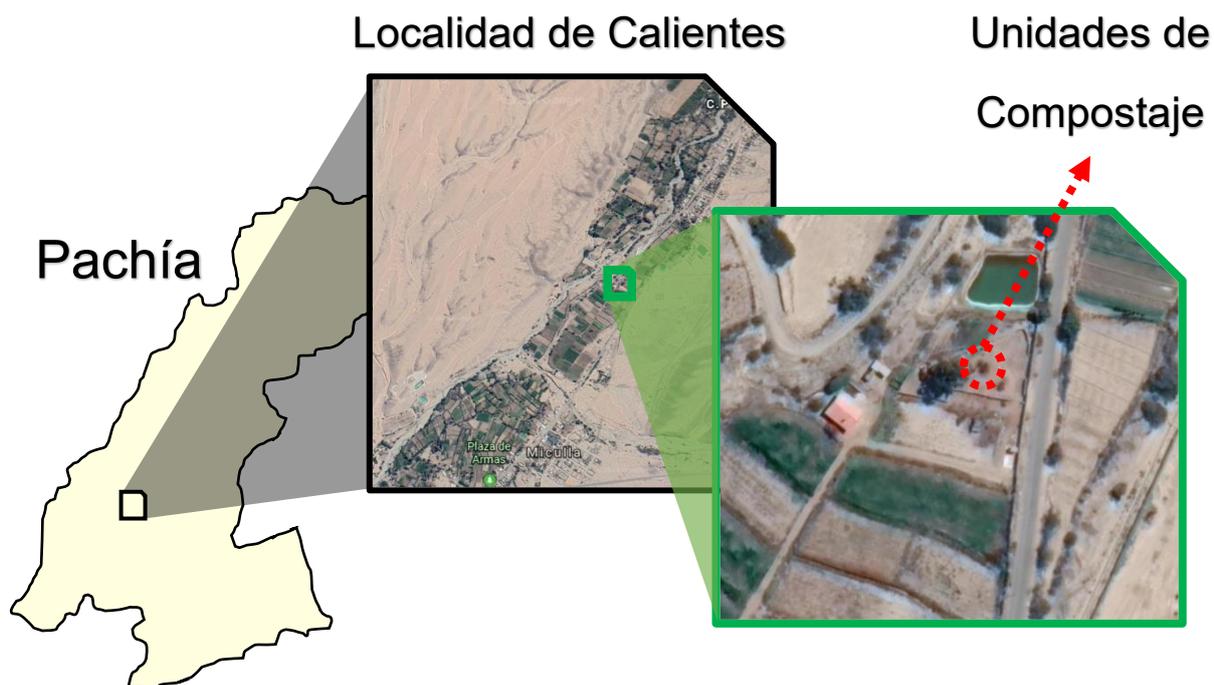


Figura 9. Mapa de Micro localización del área donde se llevó a cabo el proceso de compostaje.  
Fuente: Elaboración Propia.

## CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

### 5.1. Recuento microbiano

Transcurridas 2 semanas desde el inicio del proceso de compostaje, los Tratamientos se encontraban en una fase termófila donde se desarrollaban principalmente bacterias termófilas mientras los microorganismos mesófilos empezaban a morir o enquistarse. Además, se llevaron a cabo 2 volteos mecánicos (el primero luego de 7 días y el segundo a los 14 días de empezar el compostaje) que generaron una aireación propicia para el desarrollo de microorganismos aeróbicos (Albuquerque, 2006). Luego de 2 semanas más, todos los tratamientos alcanzaron sus valores máximos de carga microbiana (Tabla 8), lo cual concuerda con las fases mesófila y termófila iniciales ya que en éstas se alcanzan los mayores niveles de población microbiana (Moreno & Moral, 2008), sin embargo el Tratamiento 1 tuvo un incremento mínimo comparado con el de los Tratamientos 2 y 3. Estos resultados se pueden explicar por la elevada cantidad de alperujo que poseen estos últimos 2 Tratamientos, lo cual les da características de desarrollo microbiológico similares a un compost elaborado con residuos provenientes de una molienda de aceite de oliva (Filippi, 2006) que entre el día 30 y 45 del proceso de compostaje, registra los valores más altos de UFC/g de Actinomicetos, filamentos fungi y bacterias aeróbicas heterótrofas. Estos valores del recuento microbiano también concuerdan con una transición de la fase termófila hacia una nueva fase mesófila (Roman, *et al*, 2013). Pasados otros 15 días se dio una caída de la carga microbiana, mientras el tratamiento 1 y 3 (Tabla 8) se redujeron proporcionalmente, el Tratamiento 2 lo hizo abruptamente (Tabla 8), registrando el menor valor de todos los Tratamientos durante la evolución de este parámetro. El decrecimiento general se explica por la consolidación de la fase mesófila, inhibiéndose el desarrollo de microorganismos termófilos mientras se da cabida a la proliferación de mesófilos. Además, para esta fecha, la dinámica de la carga microbiana se asemeja a la obtenida por Filippi, *et al*. (2006), sin embargo, la comparación por tipo de microorganismo no es factible dado que el presente trabajo utilizó solamente el recuento total.

Transcurridos 2 meses (8 semanas) desde el inicio del proceso de compostaje se registró nuevamente un descenso de la carga microbiana en los Tratamientos 1 y 3 (Tabla 8) la cual se fundamenta en que ya se han degradado en gran proporción los compuestos de fácil procesamiento por acción de los microorganismos y condiciones fisicoquímicas, dejando en el compost una alta proporción de compuestos propios del alperujo resistentes a la biodegradación como la lignina, la celulosa o los fenoles que son degradados principalmente por actinomicetos y

hongos (García-Ortiz-Civantos, 2016), además, dada la variación de pH (Tabla 8) se puede afirmar que también hubo desarrollo de bacterias nitrificantes (Filippi, 2006). El Tratamiento 2, a diferencia del resto, presentó un incremento de la población microbiana, situación que podría explicarse por el fin de su fase de enfriamiento y comienzo de la etapa de maduración, adelantándose a los otros Tratamientos.

Finalmente, luego de 90 días, se llevó a cabo el último recuento microbiano, donde todos los tratamientos presentaron un pequeño incremento. El Tratamiento 3 el que obtuvo la mayor población de microorganismos, seguido del Tratamiento 2 y por último el Tratamiento 1 (Tabla 8). En esta etapa del desarrollo de los compost, todos los Tratamientos ya se encontraban en la etapa de maduración dado que sus temperaturas estuvieron tan solo un par de grados por encima de la temperatura ambiente y se vio un claro descenso del pH como resultado de la formación de ácidos húmicos y fúlvicos (Roman, *et al*, 2013).

## 5.2. Temperatura

Durante el proceso de compostaje se observaron variaciones en la temperatura (Figura 5) que no coinciden con las fases de este proceso debido a las condiciones climáticas dadas durante el verano de este año caracterizadas por lluvias anómalas (Anexo D) que no permitieron que la temperatura del compost alcance valores por encima de los 65°C en la etapa termófila; siendo las temperaturas máximas registradas: 58°C para el Tratamiento 1, 60°C para el Tratamiento 2 y 57°C para el Tratamiento 3, esta temperatura corresponde en los 3 casos al día 15 después del inicio del proceso de compostaje (Tabla 10).

Otra observación es que las temperaturas no descendieron abruptamente al pasar de la etapa termófila a la mesófila, lo que significa que las pérdidas de calor estuvieron apenas por encima de la generación del mismo (Martinez & García, 2004), por ello a el día 45 del proceso de compostaje se obtiene un rango de temperaturas de los Tratamientos entre los 43°C y 46°C que decae durante la etapa de maduración (60 – 90 días) hasta que se estabiliza el compost y su temperatura se asemeja a la temperatura ambiental (Tabla 11).

Si se realiza una comparación entre la dinámica de las temperaturas contempladas en el Manual de Compostaje del Agricultor de la FAO y la dinámica de las obtenidas en el presente trabajo de investigación, sí existe una similitud; incluso si separamos los resultados obtenidos por etapas, éstos aún se encuentran en los rangos aceptables, lo que nos quiere decir que el proceso de compostaje se dio adecuadamente.

### 5.3. pH

De acuerdo a las mediciones de pH desarrolladas a los 7, 15, 30, 45, 60 y 90 días se obtuvieron valores que van desde 4.3 hasta 5 (ácidos) los primeros siete días, debido a la formación de ácidos orgánicos, posteriormente en la fase termófila los niveles subieron desde 7,0 hasta 9,0 (alcalinos) debido que el amonio se convierte en amoniaco y alcaliniza el medio.

Según el Manual de Compostaje del Agricultor de la FAO, el pH delimita la supervivencia de los microorganismos y cada grupo tiene niveles de pH óptimos para su desarrollo y multiplicación. La mayor actividad bacteriana se desarrolla entre 6,0 – 7,5 y la actividad fúngica se desarrolla adecuadamente entre 5,5 – 8,0 (Roman, *et al.*, 2013) y los niveles óptimos de para un compost terminado oscila entre 5,8 – 7,2 (Roman, *et al.*, 2013), nuestros niveles de pH al finalizar el proceso de compostaje están en el rango de 5,5 – 5,9 lo que nos indica que el proceso se llevó adecuadamente en los tres Tratamientos dando como resultado un medio ligeramente ácido. Cabe mencionar que esta acidificación del compost podría deberse a la acción de bacterias nitrificantes y la producción de ácidos húmicos y fúlvicos durante la fase de maduración.

### 5.4. Humedad

Los Tratamientos 1, 2 y 3 obtuvieron una humedad del 49%, 51% y 47% respectivamente (Tabla 9). Según Roman, *et al.* (2013) el rango ideal para el proceso de compostaje está entre 45% y 60% de humedad por lo que los valores de esta variable obtenidos en la investigación indican que se llevó un correcto proceso de compostaje.

Asimismo, existen otros marcos de referencia para el contenido de humedad de un compost maduro como la norma chilena nCH 2880 (Norma Chilena 2880 del Instituto Nacional de Normalización, 2003) que indica que la humedad de éste debe ser entre 25% y 40% de la masa del producto y el caso de España donde se tiene un Real Decreto sobre productos fertilizantes (Ministerio de la Presidencia, 2013) el cual estipula que el máximo contenido de humedad de un compost de alperujo debe ser 40%.

### 5.5. Relación Carbono/Nitrógeno

La relación C/N inicial del Tratamiento 1 fue 29,9 (Tabla 13), la del tratamiento 2 fue 34,23 (Tabla 14) y la del Tratamiento 3 fue 44,96 (Tabla 15). Estos valores fueron obtenidos con una herramienta de cálculo del ratio de C/N para la mezcla de

3 materiales (Cornell Waste Management Institute, 1996) recomendada por Roman *et al.* (2013).

Una relación C/N inicial ideal debería estar entre 25 y 30 para activar el proceso de compostaje, sin embargo si la relación C/N está entre 20 y 40 igualmente se darán buenos resultados en el compostaje (Robert *et al.*, 1992). Solamente el Tratamiento 1 logró estar en el rango de una relación C/N ideal mientras la relación C/N del Tratamiento 2 se ubica dentro del rango que asegura un buen resultado en el compostaje; finalmente el Tratamiento 3 quedó por fuera de estas categorías dado que su relación C/N se encontraba por encima de 40, valor que explicaría la alta población microbiana de este Tratamiento puesto que un exceso de carbono acarrea un mayor desarrollo de microorganismos que lo degradarán.

Por los limitados recursos de la presente investigación, no fue factible realizar una evaluación de la evolución de la relación C/N durante el proceso de compostaje, no obstante existen otros trabajos de investigación relacionados al compostaje de alperujo donde sí se estudia esta dinámica o al menos se hizo un calculo de la relación C/N final:

- Albuquerque (2006) elaboró 2 compost con una composición del 95% de alperujo y en ambos casos, luego de 20 semanas de compostaje, la relación C/N se redujo 44% para uno de sus tratamientos y 41% para el otro.
- Varnero, Galleguillos, Guerrero, & Suárez (2014) desarrollaron un compost elaborado con un digestato de alperujo cuya relación C/N luego de 20 semanas de compostaje se redujo un 49%.
- Martínez García (2004) llevó a cabo una investigación que comprendía el desarrollo de 4 tratamientos de compost elaborados a base de alperujo, el proceso de compostaje duró 13 semanas y la dinámica de la relación C/N fue similar a los casos anteriores, disminuyendo entre 53% y 67% de su relación C/N inicial.
- Solano (2001) realizó un compostaje de estiércol de oveja y paja, determinando que la relación C/N cayó de 24 a 11,7 en 20 semanas y por ello concluye que el principal cambio que se tendrá en un proceso de compostaje es la caída de la relación C/N.
- Mondini (2003) desarrolla un compost de restos de algodón y residuos de patio cuya relación C/N inicial fue 24 y al cabo de 100 días de compostaje descendió hasta 11.

Como se puede apreciar, el proceso de compostaje tiende a reducir la relación C/N inicial tanto en compost elaborados a base de alperujo como en compostajes de forma general, por ende, es de esperarse que la relación C/N final de los

Biofertilizantes elaborados haya descendido hasta aproximadamente la mitad de sus valores iniciales.

### **5.6. Análisis de inocuidad**

El análisis de inocuidad de los Biofertilizantes elaborados arrojó que el Tratamiento 1 tenía una concentración de  $2 \times 10^2$  NMP/g (Tabla 16), la cual está por debajo del límite de tolerancia que permite la nCH 2880 y el Real Decreto 506/2013 respecto a contenido de coliformes en un compost maduro ( $< a 1000$  NMP/gramo de compost en ambas normas). Por otro lado, tenemos los Tratamiento 2 y 3 cuyos valores fueron  $2,4 \times 10^4$  y  $4,5 \times 10^4$  respectivamente (Tabla 16), lo que los deja por fuera del límite máximo de coliformes fecales que permiten las 2 normas mencionadas previamente.

Estos resultados se deben primeramente a la Temperatura dado que, si bien ningún Tratamiento logró superar los  $60^\circ\text{C}$ , el Tratamiento 1 fue el que más tiempo se mantuvo por encima de los  $40^\circ\text{C}$  y si se da un período de al menos 4 días con temperaturas por encima de los  $40^\circ\text{C}$  acompañado con otro periodo de mínimo 5 horas por encima de los  $55^\circ\text{C}$  se logrará una higienización del compost (Martinez García, 2004). En segundo lugar el uso de enmiendas o estiércoles con presencia de E. Coli pueden contaminar el compost (Islam, *et al*, 2005) y en la presente investigación se empleó alperujo, residuos de pescado y estiércol vacuno, sustancias que son muy propensas a contener esta clase de bacterias patógenas; además el área donde se conformaron las pilas estaba contenida dentro de un corral que hacía 4 meses había albergado ganado bovino por lo que en cada volteo realizado, el material de la unidad de compostaje entraba en contacto con estiércol vacuno no compostado. Esta situación sumada a la falta de altas temperaturas durante el proceso de compostaje explicaría la elevada presencia de coliformes fecales en los Tratamientos 2 y 3.

### **5.7. Peso fresco**

Como se observa en el resumen estadístico del peso fresco (Tabla 17), de las 7480 plántulas de lechuga que se trasplantaron a campo, sólo fueron pesadas 2988, el resto se descartadas por los siguientes motivos:

- No presentaron un tamaño adecuado.
- Las plántulas no soportaron el estrés del traslado a campo por lo que no sobrevivieron.
- Presencia de hongos que dañan los tejidos vegetales, restándole peso fresco a las lechugas.

La mejor media de pesos frescos la obtuvo el Tratamiento 1 con 925,86 gramos, seguido del Tratamiento 2 con 924,07 gramos y finalmente el Tratamiento 3 con 893,62 gramos. Se cultivó una línea adicional de lechugas que no recibió ninguna enmienda de los biofertilizantes elaborados y su media de peso fresco fue 789.75 gramos.

El análisis de varianza (ANOVA) indicó que existía una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de peso fresco de los Tratamientos con un nivel del 5% de significación; por ende, se procedió a realizar una prueba de múltiples rangos para el peso fresco por Tratamiento cuyo resultado fue que el único par de medias de peso fresco que no tienen diferencias estadísticamente significativas son el Tratamiento 1 y 2, al 95% de confianza.

Saavedra del R. et al. (2017) indica que un suelo propicio para el cultivo de lechugas debe contener nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) y Zinc (Zn). Dada la relación C/N de los compost elaborados, el requerimiento de nitrógeno de las especies vegetales debe haberse satisfecho, en cuanto al fósforo y el potasio no se puede garantizar que los biofertilizantes hayan aportado las cantidades requeridas por el cultivo dado que no se realizó un estudio de la composición de cada Tratamiento; finalmente tampoco se determinó el contenido de zinc en los biofertilizantes elaborados pero cualquier compost de origen animal tiene una concentración de este elemento lo suficientemente alta para saciar el requerimiento de un cultivo de lechugas (Saavedra del R., *et al*, 2017).

## CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES

- En función de los resultados obtenidos, se concluye que hasta el 80% de una unidad de compostaje de estiércol vacuno y vísceras de pescado puede ser reemplazada por alperujo para obtener un biofertilizante, rechazándose la hipótesis general planteada en la presente investigación la cual indica que sólo se podrá elaborar un biofertilizante cuya composición sea como máximo un 60% de alperujo.
- En cuanto a la evaluación de parámetros fisicoquímicos, tanto la temperatura como el pH de los tres Tratamientos tuvieron resultados similares. En el caso del porcentaje de humedad, el Tratamiento 1 y 2 obtuvieron un valor que se aproxima al rango estipulado por la nCH 2880 para este parámetro mientras el Tratamiento 3 quedó fuera de dicho rango.
- En el recuento microbiano, todos los Tratamientos alcanzaron un orden de  $10^7$ . La mayor carga microbiana la tuvo el Tratamiento 3, seguido del Tratamiento 2 y finalmente el Tratamiento 1.
- El análisis de coliformes termotolerantes o fecales indica que solamente el Tratamiento 1 es inocuo de acuerdo al límite que establece la nCH 2880 (<1000 NMP/g de Coliformes fecales).
- La mejor relación C/N inicial fue la del Tratamiento 1, siendo el único dentro del margen de la nCH 2880 para este parámetro.
- Del cultivo de lechuga con los biofertilizantes elaborados, se determinó que la mejor media de pesos frescos fue al del Tratamiento 1 que asciende a 925,86 gramos, seguido del Tratamiento 2 con 924,07 gramos y finalmente el Tratamiento 3 con 893,62 gramos.

## **CAPÍTULO VII: RECOMENDACIONES**

Debido a que no se contaba con los equipos, materiales, reactivos e instalaciones adecuadas no se pudo incluir la medición de algunos parámetros que permitirían una mejor comprensión y estudio del proceso de compostaje del alperujo en nuestra región, por lo que se recomienda hacer un estudio de la dinámica de la relación C/N y la materia orgánica durante el proceso de compostaje, un análisis de la composición final de los biofertilizantes (especialmente carbono y nitrógeno disponibles y metales pesados) y una evaluación de fitotoxicidad.

Se sugiere a futuros investigadores estudiar la viabilidad económica de montar una empresa dedicada plenamente a la elaboración de biofertilizantes a base de alperujo o en su defecto, realizar una detallada estructura de costos del compostaje de alperujo que faciliten a los empresarios del rubro olivícola la implementación de estas prácticas con el objetivo de volver sostenible este sector económico en la región.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alburquerque, J. A., Gonzalez, J., Garcia, D., & Cegarra, J. (2004). Agrochemical characterisation of alperujo a solid by-product of the two-phase centrifugation method for olive oil extraction. *Bioresource Technology*, 195-200.

Alburquerque, J. A. (2006). Effects of bulking agent on the composting of "alperujo", the solid by-product of the two-phase centrifugation method for olive oil extraction. *Process Biochemistry*, 127-132.

Alvarez, J. (2006). Estudio sobre mezclas óptimas de material vegetal para compostaje de alperujos en almazaras ecológicas y caracterización físico química de los compost producidos . 22.

Canet, R., & Albiach, M. R. (2008). Aplicaciones del compost en Agricultura Ecológica . *Ediciones Mundi-Prensa. Madrid* , 379-395.

Cegarra, e. a. (2006). Effects of the forced ventilation on composting of a solid olive-mill by-product alperujo managed by mechanical turning. 1377-1383.

Cornell Waste Management Institute. (1996). *Calculate C/N Ratio For Three Materials*. Obtenido de <http://compost.css.cornell.edu/calc/2.html>

Dirección de Estadística Agraria. (15 de noviembre de 2018). *Olivo, Producción y Exportación 2017*. Obtenido de Dirección Regional de Agricultura Tacna: [http://www.agritacna.gob.pe/gestores/estadistica/of\\_ol\\_estadidet\\_e/archivos/2778343429\\_4387653883.pdf](http://www.agritacna.gob.pe/gestores/estadistica/of_ol_estadidet_e/archivos/2778343429_4387653883.pdf)

Fernández , L., Rojas, G., Roldán, T., Ramírez, E., Zegarra, H., Hernández , R., Arce, J. (2006). *Manual de técnicas de análisis de suelos*. Mexico, D.F: Instituto Mexicano del Petróleo, Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología.

Filippi, C. B.-M. (2006). Cocomposting of Olive Oil Mill By-Products: Chemical and Microbiological Evaluations. *Compost, Science & Utilization*, 63-71.

García-Ortiz-Civantos, C. (10 de febrero de 2016). *Aprovechamiento del alperujo como enmienda orgánica en el olivar*. Obtenido de RUJA: Repositorio Institucional de Producción Científica: <http://hdl.handle.net/10953/769>

Gestión. (15 de Noviembre de 2017). Asociación Pro Olivo: En 2018 se triplicará la producción de aceite de oliva y aceituna en Perú. Tacna, Tacna, Perú.

Instituto Nacional de Normalización. (7 de noviembre de 2003). *INGEA*.  
Obtenido de [ingeachile.cl/normativa.htm](http://www.ingeachile.cl/normativa.htm):  
<http://www.ingeachile.cl/descargas/normativa/agricola/NCH2880.pdf>

Islam, M., Doyle, M. P., Phatak, S. C., Millner, P., & Jiang, X. (2005). Survival of *Escherichia coli* O157:H7 in soil and on carrots and onions grown in fields treated with contaminated manure composts or irrigation water. *Food Microbiology* 22, 63-70.

Lopez, A., & Ramirez, R. (2002). *Obtención de Compost y Extractos Húmicos a partir de alperujo*. Córdoba: FAECA, Consejería de Agricultura y Pesca Junta de Andalucía.

Martinez, G. (2005). *Degradación y Transformación de Subproductos de Almazara en procesos de co-compostaje y aplicación como enmienda orgánica*. Sevilla: Universidad de Córdoba-C.I.F.A Alameda del Obispo -IAS CSIC. III Congreso Internacional sobre bioresiduos y Compost. Sesión Aplicación de los productos finales. Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía -ACRR-ISR CER.

Martinez García, G. (Julio de 2004). *Evolución temporal del madurado de alperujo procedente de almazara*. Obtenido de [JuntadeAndalucía.es: https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/web/Bloques\\_Tematicos/Calidad\\_Ambiental/Gestion\\_De\\_Los\\_Residuos\\_Solidos/compost/Evolucion\\_temporal\\_compostaje\\_alperujo.pdf](https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/web/Bloques_Tematicos/Calidad_Ambiental/Gestion_De_Los_Residuos_Solidos/compost/Evolucion_temporal_compostaje_alperujo.pdf)

MGA, D., & Pravia, M. (1999). Manual para la elaboración de compost. *Organización Panamericana de la Salud*.

Ministerio de la Presidencia. (10 de julio de 2013). *Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes*. Obtenido de Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado [ES]: <https://www.boe.es/buscar/pdf/2013/BOE-A-2013-7540-consolidado.pdf>

Mondini, C. D. (2003). An Integrated Chemical, Thermal, and Microbiological Approach to Compost Stability Evaluation. *Journal of Environment Quality*, 32(6), 2379-2386.

Monetta, P. (2015). Dos Opciones de Aprovechamiento de Alperujo: Aplicación Directa al Suelo y Compostaje con Residuos Agroindustriales. *IV Jornadas de Actualización en Olivos* (pág. 34). San Juan - Argentina: INTA EEA.

Moreno, J., & Moral, R. (2008). *Compostaje*. Madrid: Munid-Prensa.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación . (2009). *Glosario de agricultura orgánica*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (1985). Los subproductos del olivar en la alimentación animal en la cuenca del Mediterráneo. *Deposito de documentos de la FAO*.

Peña, E., Carrión, M., Martínez, F., Rodríguez, A., & Companioni, N. (2002). *Manual para la producción de abonos orgánicos en la agricultura urbana*. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).

Rivera, L. F. (19 de Septiembre de 2019). Tacna: Producción de aceite de olivo aumenta y da esperanza ante crisis. Tacna, Tacna, Perú.

Robert, R., Van de Kamp, M., Laliberty, L., Kay, D., Willson, G., Singley, M., . . . Brinton, W. (1992). *On-Farm Composting Handbook*. Ithaca: Robert Rynk.

Roman, P., Martínez, M., & Pantoja, A. (2013). *Manual de Compostaje del Agricultor*. Santiago: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).

Romero, A. M., Ordoñez, R., & Giraldez, J. V. (1998). Variación de las características fisico-químicas de varios suelos enmendados con alperujo. *IV International Congress of Project Engineering, Córdoba*, 1316-1324.

Saavedra del R., G., Corradini, F., Antunez B., A., Felmer E., S., Estay P., P., & Sepúlveda R., P. (2017). *Manual de producción de Lechuga*. Santiago: Instituto de Desarrollo Agropecuario - Instituto de Investigaciones Agropecuarias.

Sierra de Genave ; Sanchez, Alvaro. (1999). *Transformación de los subproductos de almazara en abono orgánico*. Jaen: Comité Andaluz de Agricultura Ecológica.

Solano, M. L. (2001). Performance Characteristics of Three Aeration Systems in the Composting of Sheep Manure and Straw. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 79(3), 317-329.

Tarigo, A., Repetto, C., & Acosta, D. (2004). *Evaluación agronómica de biofertilizantes en la producción de lechuga (Lactuca sativa) a campo*. Montevideo - Uruguay.

Tchobanoglous, G., Theisen, H., & Vigil, S. (1996). Gestión integral de residuos sólidos.

Varnero, M. T., Galleguillos, K., Guerrero, D., & Suárez, J. (2014). Producción de Biogás y Enmiendas Orgánicas a Partir del Residuo Olivícola (Alperujo). *Información Tecnológica Vol. 25(5)*, 73-78.

Vega, K. (2015). Elaboración de composta a partir de residuos de pescado, utilizando el método de pilas con aireación mecánica. *Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C.*, 32.

Viguera, J. (2004). *Estudio de suelos y su Analítica*. Mexico.

Zucconi, e. a. (1987). Cimpost specifications for the production and characterization of compost from municipal solid waste. *Elsevier Applied Science Publishers*.

## ANEXOS

## Anexo A. Matriz de Consistencia

	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	HIPÓTESIS	OBJETIVO	VARIABLE	INDICADOR	MÉTODO	ESTADÍSTICA
GENERAL	¿Qué porcentaje de la unidad de compostaje puede ser alperujo en la elaboración de un biofertilizante?	Se puede elaborar un biofertilizante cuya composición sea mayor o igual al 60% alperujo.	Determinar el porcentaje de la unidad de compostaje que puede ser alperujo en la obtención de un biofertilizante en la localidad de Calientes - Tacna	Concentración de Alperujo	KG de alperujo / Tratamiento		
ESPECÍFICOS	¿Al cambiar la cantidad de alperujo en la pila de compostaje se alterarán los parámetros fisicoquímicos del biofertilizante?	La concentración de alperujo si influye en los parámetros fisicoquímicos durante la elaboración del compost	Evaluar parámetros fisicoquímicos (temperatura, pH, humedad) del proceso de compostaje con diferentes concentraciones de	Temperatura	Temperatura en C° / Tratamiento	Determinación de la temperatura con un	
				pH	Escala de pH	Determinación del pH con un pHmetro	
				Humedad	%Humedad / Tratamiento	Determinación de la humedad en laboratorio	
	¿Al cambiar la cantidad de alperujo en la pila de compostaje se alterarán los parámetros biológicos del biofertilizante?	La concentración de alperujo limita el desarrollo de microorganismos.	Evaluar los parámetros microbiológicos (recuento microbiano) del proceso de compostaje	Recuento microbiano	N° de colonias / Tratamiento	Recuento microbiano por dilución en placa	
	¿La utilización de alperujo en el proceso de compostaje permitirá el desarrollo de coliformes?	El número de coliformes encontradas en el biofertilizante a base de alperujo será $< 1 \times 10^2$ NMP/g	Determinar la cantidad estimada de coliformes presentes en el biofertilizante	Relación C/N	%C/%N	Cálculo de la relación C/N con la metodología desarrollada por la FAO	
	¿La elevada relación C/N del alperujo tendrá incidencia en la relación C/N del biofertilizante?	La relación C/N varía dependiendo de la concentración de alperujo.	Calcular la relación C:N (Carbono : Nitrógeno) del biofertilizante	Análisis de inocuidad	NMP / g	Análisis de laboratorio	
¿Aplicar una enmienda del biofertilizante de alperujo al suelo influirá en la producción de lechuga (Lactuca sativa)?	La aplicación de una enmienda del biofertilizante de alperujo a un cultivo de lechuga incrementa su peso fresco.	Determinar la producción de Lechuga (Lactuca Sativa) aplicando enmiendas de los biofertilizantes elaborados con diferentes concentraciones de alperujo.	Peso fresco	Peso fresco(kg) / Tratamiento	Segar las plantas de lechuga y pesarlas con una balanza	ANOVA	

## Anexo B. Solicitud de servicios de laboratorio a la DESA-Tacna

LABORATORIO DE SALUD AMBIENTAL

Av. Prolongación 2 de mayo N° 180

Teléfono secretaria DESA : 052-243844

**SOLICITUD DE SERVICIOS DE LABORATORIO N° 19-2019**

Av. Celestino Vargas N° 405.  
Ref. Ovado Pocollay, costado de  
ESSALUD (medicina complementaria).

Documento de referencia:

Cliente: CHRISTIAN VELIZ ROJAS

Contacto:

Tipo de muestra: COMPOST Objetivo del ensayo:

Dirección : JOSE TORIBIO ARA 847. PARA CHICO

Teléfono: 96813259€ Fax:

E. Mail:

RUC:

Contramuestra: SI ( ) NO ( x) Diremencia: SI ( ) NO ( )

Entrega de informe: Enviar ( ) Recoger ( x) Oficial ( ) No oficial ( )

Fecha y hora de solicitud del servicio: 06.06.2019; 11:26Hrs.

ITEM	ENSAYOS	METODO DE ENSAYO	COSTO UNITARIO (S/)	CANTIDAD	COSTO TOTAL (S/)
<b>SUPERFICIE:</b>					
	Coliformes fecales	Tubos múltiples - NMP	31,76	3	95,28
				<b>TOTAL S/:</b>	<b>95,28</b>

En caso de no ser muestra no perecible sera desechada: 24 horas ( ) Fecha desecho. / Devol:

- El cliente debe proporcionar la cantidad suficiente de muestra ( 200g) que dependerá del muestreador asignado
- El tiempo de entrega de resultados es de 03 días hábiles
- La entrega del informe de ensayo se realiza solamente previa cancelación de los servicios.
- La entrega del informe de ensayo solo se efectuará a terceros con autorización escrita del solicitante.
- El laboratorio mantendrá absoluta reserva sobre la información proporcionada por el cliente y la generada por los servicios de ensayos. Solo se procederá, de darse el caso, a entregar resultados a la autoridad por mandato judicial, informándose al cliente.
- Pasado un mes de la entrega del informe al cliente, el laboratorio podrá usar los datos con fines estadísticos o científicos, manteniendo en reserva la identidad del solicitante.
- Los reclamos o quejas serán atendidas por el departamento de Atención al cliente del laboratorio.
- El plazo máximo para presentar una queja es de 30 días útiles, después de emitido el informe de ensayo.
- La procedencia o no de la queja es resuelta en un plazo no mayor a las 24 horas después de su recepción.
- En el caso que la queja proceda, se emitirá al cliente una comunicación escrita, detallando el resultado de las acciones tomadas.
- Si el cliente manifiesta su inconformidad con la respuesta recibida, puede considerar una reconsideración de su queja, ante la gerencia en 10 días hábiles.
- En esta instancia la procedencia o no de la queja es resuelta en un plazo no mayor a las 24 horas después de su recepción.
- En caso de que la queja presentada corresponda a un resultado de ensayo y el ensayo de juicio tenga que ser repetido:
  - Si el laboratorio ratifica el resultado, el cliente debe de cubrir con el 75% del costo del ensayo.
  - Si el laboratorio emite un nuevo resultado, asumirá los gastos del servicio.
- El tiempo de custodia de las contramuestras es de tres meses (en caso de muestra no perecible).
- Las muestras para dirigencia, serán lacradas y permanecerán en el laboratorio el tiempo de vida útil que se estime conveniente de la muestra.
- En caso de que el cliente anule el servicio mientras ésta esté en ejecución, asumirá los gastos en los cuales haya incurrido el laboratorio hasta el momento de la interrupción del servicio.

Firma del Cliente

Nombre:  
D.N.I.:

Firma al Cliente

Laboratorio de Salud Ambiental  
Blga. Giovanna Paola Velásquez Juculaca  
Resp. Laboratorio de Salud Ambiental  
Cel.: 952679645

## Anexo C. Resultados del Análisis de Inocuidad



DIRECCIÓN  
REGIONAL  
SALUD

"Decenio de la igualdad de oportunidades para mujeres y hombres"  
"Año de la lucha contra la corrupción y la impunidad"

### INFORME DE ENSAYO N° 277 - 2019 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE ALIMENTOS

Solicitante	: DIEGO CHOCANO ROSSI - CHRISTIAN VELIZ ROJAS
Dirección	: JOSÉ TORIBIO ARA N° 847. PARA CHICO
Tesis	: "DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE LA UNIDAD DE COMPOSTAJE QUE PUEDE SER REEMPLAZADO POR ALPERUJO PARA LA OBTENCIÓN DE UN BIOFERTILIZANTE EN LA LOCALIDAD DE CALIENTES-TACNA"

DATOS DE LA MUESTRA: Compost				CONTROL DE LABORATORIO
Muestra	Compost	Compost	Compost	Fecha y hora de recepción: 07/06/2019; 09:20 a.m..
Procedencia de la muestra	Fundo Santa Rosa Km. 25	Fundo Santa Rosa Km. 25	Fundo Santa Rosa Km. 25	Fecha y hora de análisis: 07/06/2019; 14:07 Hrs
Forma de presentación	Compost a granel en bolsa de polietileno a granel.	Compost a granel en bolsa de polietileno a granel.	Compost a granel en bolsa de polietileno a granel.	Fecha de reporte: 12-06-2019
Condiciones durante la recepción	-----	-----	-----	Fecha de emisión: 12-06-2019
Cantidad recibida	155 gr.	194 gr.	244 gr.	
Muestreador	Diego Chocano Rossi-Christian Veliz Rojas.	Diego Chocano Rossi-Christian Veliz Rojas.	Diego Chocano Rossi-Christian Veliz Rojas.	
Fecha y hora de muestreo:	06/06/2019; 12:00 Hrs.	06/06/2019; 12:02 Hrs.	06/06/2019; 12:04 Hrs.	
Código de campo:	T-01	T-02	T-03	
Código de Laboratorio:	48-ST	49-ST	50-ST	
ENSAYOS	RESULTADOS	RESULTADOS	RESULTADOS	MÉTODOS
Numeración de microorganismos aerobios mesófilos viables (UFC/g)	NSD	NSD	NSD	AOAC 991.14-2005
Numeración de coliformes fecales (NMP/g)	2x10 <sup>2</sup>	2.4x10 <sup>4</sup>	4.5x10 <sup>4</sup>	ISO 4832:2006.
Numeración de coliformes (UFC/g)	NSD	NSD	NSD	AOAC 991.14-2005
Numeración de <i>Staphylococcus aureus</i> (UFC/g)	NSD	NSD	NSD	ISO 6888-1.1999 /Adm.1.2003
Numeración de <i>E. coli</i> (UFC/g)	NSD	NSD	NSD	AOAC 991.14-2005
Detección de <i>Salmonella</i> spp. (/25g)	NSD	NSD	NSD	ISO -6579:2002/Cor 1:2004.
Numeración de Mohos (UFC/g)	NSD	NSD	NSD	ISO 7954:1987
Numeración de Levaduras (UFC/g)	NSD	NSD	NSD	ISO 7954:1987
Numeración de Enterobacterias	NSD	NSD	NSD	ISO 21528-2:2004

Nota: <"valor" significa no cuantificable inferior al valor indicado. NSD: No se determino . <10<sup>2</sup>: 0

GOBIERNO REGIONAL DE TACNA  
Dirección Regional de Salud

MIZ. CESAR HERRERA CHIPANA  
Director Ejecutivo de Salud Ambiental  
C.M.V.P. N° 7931

Giovanna Paola Velásquez Juculaca  
Biólogo  
C.B.P.: 5283

(01) Original.  
(02) Copia  
CHCH/fac

Los ensayos se han efectuado según lo solicitado por cadena de custodia.

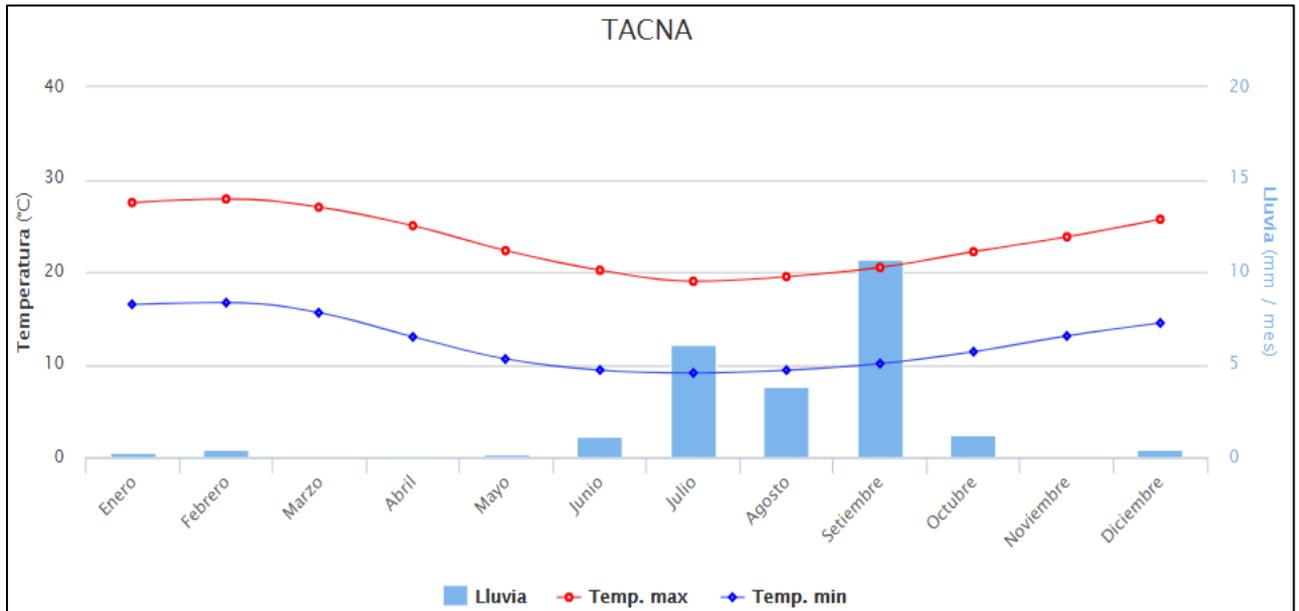
Los resultados del informe corresponden solo a las muestras sometidas a ensayo.

La reproducción parcial de este informe, no está permitida sin la autorización por escrito de este laboratorio

Urbanización Monte verde | Etapa "A-11" | Teléfono 052-280068 - Tacna - Perú

### Anexo D. Promedio de la temperatura normal para Tacna

Recuperado de: <https://www.senamhi.gob.pe/main.php?dp=tacna&p=pronostico-detalle>



**Anexo E. Fotografías**

**Fotografía N°C1.** Área donde se llevó a cabo el proceso de compostaje.



**Fotografía N°C2.** Preparación de las pozas para la conformación de las unidades de compostaje.



**Fotografía N°C3.** Poza de 1.3m\*1.5m\*0.25m antes de ser perfilada manualmente.



**Fotografía N°C4.** Acopio de alperujo en el área donde se desarrolló el proceso de compostaje.



**Fotografía N°C5.** Recolección de vísceras de pescado en el mercado Miguel Grau.



**Fotografía N°C6.** Recojo de estiércol vacuno.



**Fotografía N°C7.** Incorporación de alperujo a las unidades de compostaje.



**Fotografía N°C8.** Incorporación de vísceras de pescado a las unidades de compostaje.



**Fotografía N°C9.** Incorporación de alperujo a las unidades de compostaje.



**Fotografía N°C10.** Día 1 del proceso de compostaje.



**Fotografía N°C11.** Humedecimiento de las unidades de compostaje.



**Fotografía N°C12.** Primer volteo de las unidades de compostaje.



**Fotografía N°C13.** Día 7 del proceso de compostaje.



**Fotografía N°C14.** Segundo volteo de las unidades de compostaje.



**Fotografía N°C15.** Día 15 del proceso de compostaje.



**Fotografía N°C16.** Tercer volteo de las unidades de compostaje.



**Fotografía N°C17.** Día 30 del proceso de compostaje.



**Fotografía N°C18.** Día 45 del proceso de compostaje.



**Fotografía N°C19.** Cuarto volteo de las unidades de compostaje.



**Fotografía N°C20.** Día 60 del proceso de compostaje.



**Fotografía N°C21.** Ensacado de los biofertilizantes 90 días después del inicio del proceso de compostaje.



**Fotografía N°C22.** Traslado de los biofertilizantes a campo y posterior incorporación al terreno de cultivo.



**Fotografía N°C23.** Toma de muestras de las unidades de compostaje.



**Fotografía N°C24.** Siembra de microorganismos con el método de dilución en placa por duplicado.



**Fotografía N°C25.** Medición de pH con ayuda de un multiparámetro.



**Fotografía N°C26.** Colocación de carteles que faciliten la identificación de los tratamientos durante el día 1 del trasplante de las plántulas de lechugas a campo.



**Fotografía N°C27.** Día 3 luego del trasplante de las plántulas de lechuga a campo.



**Fotografía N°C28.** Día 21 luego del trasplante de las plántulas de lechuga a campo.



**Fotografía N°C29.** Día 57 luego del trasplante de las plántulas de lechuga a campo.



**Fotografía N°C30.** Cosecha y cálculo del peso fresco de las lechugas 61 días después del trasplante de las plántulas a campo.



**Fotografía N°C31.** Balanza digital empleada para el cálculo del peso fresco



**Fotografía N°C32.** Tesistas durante la jornada de cosecha.