

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**



**“PROPUESTA DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO PARA LA  
OBTENCIÓN DE COMPOST EN LA CIUDAD DE JULI –  
CHUCUITO – PUNO”**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**HECTOR FRANCISCO PUENTE DURAN**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO AGRÍCOLA**

**PUNO – PERÚ**

**2017**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**

**PROPUESTA DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO PARA LA OBTENCIÓN  
DE COMPOST EN LA CIUDAD DE JULI – CHUCUITO – PUNO**

TESIS PRESENTADA POR:

HECTOR FRANCISCO PUENTE DURAN

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO AGRÍCOLA



APROBADA POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

**PRESIDENTE** : .....  
Ing. RICARDO LUIS BARDALES VASSI

**PRIMER JURADO** : .....  
M.Sc. JOSÉ ANTONIO MAMANI GÓMEZ

**SEGUNDO JURADO** : .....  
M.Sc. ALCIDES HÉCTOR CALDERÓN MONTALICO

**DIRECTOR** : .....  
Ing. EDILBERTO HUAQUÍSTO RAMOS

**ASESOR** : .....  
M.Sc. PERCY DUEÑAS GUTIERREZ

ÁREA : Ingeniería y Tecnología  
LINEA: Ingeniería de Infraestructura Rural  
TEMA : Saneamiento Rural

FECHA DE SUSTENTACIÓN 03 DE FEBRERO DEL 2017

## DEDICATORIA

**A:**

**Dios.**

Por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

Mis Padres

Julia E. Duran, Hector Puente, por darme la vida, quererme mucho, creer en mí y porque siempre me han apoyado en todo momento. Mamá y Papá gracias por darme una carrera para mi futuro, todo esto se los debo a ustedes.

Mi Abuela

Antonia Romero (QEPD), por apoyarme siempre en los momentos que más te he necesitado, esto también te lo debo a ti.

Mi esposa e hijo

Gracias Seinna por entenderme en todo, gracias porque en todo momento fuiste un apoyo incondicional en mi vida, la felicidad encajada en una sola persona, mi todo reflejado en otra persona a la cual yo amo demasiado, y por la cual estoy dispuesto a enfrentar todo y en todo momento.

A mi hijo Hector Amilcar que aun siendo pequeño entiende del sacrificio del estudio a pesar de querer pasar momentos de diversión conmigo; ustedes son el motivo e inspiración para mi superación personal.

Mis hermanas y Sobrinos Fanny, Cecilia, y Jelen, por estar conmigo y apoyarme siempre, las quiero mucho.

## AGRADECIMIENTO

- A nuestra Universidad Nacional del Altiplano-Puno quien es nuestra alma mater, por cobijarnos estos años de preparación profesional y darnos la oportunidad de ser profesionales.
- Al personal docente de la Facultad de Ingeniería Agrícola, por habernos brindado los conocimientos teórico – prácticos para desempeñarnos como futuro profesional de Ingeniería.
- Al personal administrativo, por haberme brindado la confianza y facilidades durante la ejecución de la presente investigación.
- A todas aquellas personas que nos apoyaron y ayudaron con sus valiosas sugerencias en el desarrollo del estudio.
- A todos aquellos familiares y amigos que no recordé al momento de escribir esta dedicatoria, ustedes saben quiénes son.

**INDICE GENERAL**

DEDICATORIA .....	2
AGRADECIMIENTO .....	3
INDICE GENERAL .....	4
INDICE DE TABLAS .....	9
INDICE DE FIGURAS .....	10
LISTA DE ABREVIATURAS .....	11
LISTA DE FÓRMULAS .....	11
RESUMEN .....	15

**CAPÍTULO I**

<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>17</b>
1.1. Introducción.....	17
1.2. Planteamiento del problema .....	19
1.3. Antecedentes de la investigación.....	21
1.4. Justificación .....	27
1.4.1. Justificación técnica.....	27
1.4.2. Justificación económica.....	28
1.4.3. Justificación social.....	28
1.4.4. Justificación ambiental .....	29
1.4.5. Justificación académica .....	29
1.5. Objetivos.....	30
1.5.1. Objetivo general .....	30
1.5.2. Objetivos Específicos .....	30
1.6. Hipótesis .....	30
1.6.1. Hipótesis General .....	30
1.6.2. Hipótesis específicos .....	30

1.6.3. Operacionalización de Variables .....	31
----------------------------------------------	----

## CAPITULO II

<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>32</b>
2.1. Residuos sólidos .....	32
2.1.1. Clasificación de residuos sólidos.....	33
2.1.1.1 <i>Clasificación por origen</i> .....	33
2.1.1.2 <i>Clasificación por características y tipo de manejo</i> .....	34
2.1.2. Caracterización de residuos sólidos domiciliarios.....	35
2.1.3. Generación de residuos sólidos .....	36
2.1.3.1. <i>Producción per cápita</i> .....	36
2.1.3.2. <i>Estimación teórica de Producción Per Cápita (PPC)</i> .....	36
2.1.3.3. <i>Caracterización de residuos sólidos</i> .....	37
2.1.4. Marco legal asociado al manejo de los residuos sólidos .....	38
2.1.4.1. <i>Normas Internacionales que influyen en la Gestión de los Residuos Sólidos</i> .....	38
2.1.4.2. <i>Normas Nacionales que influyen en la Gestión de Residuos Sólidos</i> .....	41
2.2. El compost .....	45
2.2.1. Origen del compost.....	46
2.2.2. Justificación de producción de compost.....	47
2.2.2.1. <i>Ventajas del uso del compost</i> .....	48
2.2.2.2. <i>Beneficios adicionales del compostaje</i> .....	49
2.2.3. Sistema de compostaje.....	49
2.2.3.1. <i>Sistema en camellones, parvas o pilas</i> .....	49
2.2.3.2. <i>Sistema en reactores</i> .....	50
2.2.3.3. <i>Compostaje en sistema abierto (compostaje en pilas)</i> .....	51
2.2.4. Materia prima y características de los residuos a compostar.....	54
2.2.4.1. <i>Características de los residuos a compostar</i> .....	56

2.2.5.	Criterios de calidad para materiales biodegradables .....	62
2.2.6.	El proceso de compostaje .....	63
2.2.6.1.	<i>Factores que condicionan el proceso de compostaje</i> .....	65
2.2.7.	Métodos para determinar la madurez de un compost .....	67
2.2.8.	Los nutrientes en el compost .....	70
2.2.9.	Propiedades del compost .....	73
2.2.10.	Usos de la composta doméstica .....	74
2.3.	Diseño .....	74

### CAPITULO III

<b>MATERIALES Y MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>77</b>
3.1. Medio experimental .....	77
3.1.1. Ubicación del experimento .....	77
3.1.2. Límites de la Provincia de Chucuito Juli.....	79
3.2. Material experimental.....	79
3.2.1. Materia prima .....	79
3.2.2. Agua.....	79
3.2.3. Estiércol .....	79
3.2.4. Insumos.....	79
3.2.5. Equipos e instrumentos.....	80
3.2.6. Instituciones y software utilizados .....	80
3.3. Metodología de medición y evaluación por objetivos .....	81
3.3.1. Caracterización de residuos sólidos urbanos en la ciudad de Juli .....	81
3.3.1.1. Población de Juli.....	81
3.3.1.2. Determinación del número de muestras .....	81
3.3.2. Procedimiento para la obtención del compost con influencia de la adición de estiércol en un sistema abierto (pilas con volteo) a partir de residuos sólidos orgánicos urbanos en la ciudad de Juli.....	84
3.3.2.1. <i>Ubicación de las pilas de compostaje</i> .....	85

3.3.2.2.	<i>Recolección de los materiales para el compostaje</i> .....	86
3.3.2.3.	<i>Preparación del terreno</i> .....	87
3.3.2.4.	<i>Dimensiones de la pila de compostaje</i> .....	88
3.3.2.5.	<i>Composición de las pilas de compostaje.</i> .....	89
3.3.2.6.	<i>Formación de las pilas de compostaje</i> .....	90
3.3.2.7.	<i>Monitoreo y control del proceso de compostaje</i> .....	92
3.3.2.9.	<i>Regulación de la humedad</i> .....	92
3.3.2.10.	<i>Medición de la temperatura</i> .....	93
3.3.2.11.	<i>Obtención de muestras para el laboratorio</i> .....	93
3.3.2.12.	<i>Tamizado y pesaje del compost en la etapa final del proceso</i> .....	94
3.3.2.13.	<i>Medición de los parámetros físico-químicos del compost</i> .....	94
3.3.2.14.	<i>Zonas necesarias para el tratamiento de elaboración de compost</i>	94
3.3.3.	Premisas generales de diseño .....	96
3.3.3.1.	<i>Premisas de diseño</i> .....	96
3.3.3.2.	<i>Diagramas de diseño</i> .....	97
3.3.3.3.	<i>Programa de necesidades</i> .....	97
3.3.3.4.	<i>Secuencia de proceso de compostaje</i> .....	98
3.3.3.5.	<i>Determinación del espacio requerido para cada área de producción</i> .....	98
3.3.3.6.	<i>Idea de diseño</i> .....	99

## CAPITULO IV

<b>RESULTADOS</b> .....	<b>100</b>
4.1. Caracterización de los residuos sólidos en la ciudad de Juli .....	100
4.1.1. Población de Juli.....	100
4.1.2. Determinación del número de muestras .....	101
4.1.3. Proyección per cápita de generación total de residuos sólidos domiciliarios en la ciudad de Juli .....	102
4.1.4. Composición física de residuos sólidos urbanos .....	102

4.1.5.	Composición física de los residuos sólidos orgánicos urbanos .....	104
4.2.	Influencia de la adición de estiércol en la obtención del compost en un sistema abierto (pilas con volteo) .....	107
4.2.1.	Dinámica de temperatura y tiempo de compostaje con adición de estiércol de gallina, vacuno y ovino .....	107
4.2.2.	Dinámica de pH del compost con respecto a la adición de estiércol de gallina, vacuno y ovino.....	109
4.2.3.	Volteo de las pilas para aireación y corrección de humedad.....	110
4.2.4.	Calidad de compost a partir de residuos sólidos orgánicos urbanos en el distrito de Juli, en un sistema abierto (pilas con volteo) .....	113
4.3.	Propuesta planta de tratamiento.....	120
4.3.1.	Premisas de diseño.....	120
4.3.1.1.	<i>Estructura del sistema de manejo de materiales</i> .....	120
4.3.2.	Secuencia de proceso de compostaje.....	122
4.3.3.	Programa de necesidades.....	124
4.3.4.	Determinación del espacio requerido para cada área de producción.....	128
4.3.5.	Idea de diseño .....	136
4.3.5.1.	<i>Distribución de layout general de la planta</i> .....	136
	CONCLUSIONES .....	137
	RECOMENDACIONES .....	139
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	140
	ANEXOS .....	15

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.1.</b> Operacionalización de variables .....	31
<b>Tabla 2.1.</b> Relación carbono nitrógeno de algunos residuos orgánicos .....	58
<b>Tabla 2.2.</b> Técnica para la formulación de mezclas de compostaje .....	63
<b>Tabla 3.1.</b> Cálculo inicial C/N para las tres pilas .....	84
<b>Tabla 3.2.</b> Formación de las pilas .....	91
<b>Tabla 4.1.</b> Tasa de crecimiento poblacional para la zona urbana de la ciudad de Juli .....	100
<b>Tabla 4.2.</b> Población proyectada para la zona urbana de la ciudad de Juli .....	100
<b>Tabla 4.3.</b> Número de viviendas para la zona urbana de la ciudad de Juli .....	101
<b>Tabla 4.4.</b> Generación per cápita .....	102
<b>Tabla 4.5.</b> Composición física de los residuos sólidos urbanos en la ciudad de Juli. ....	102
<b>Tabla 4.6.</b> Composición física de los residuos sólidos orgánicos urbanos generados en la ciudad de Juli (febrero 2014).....	105
<b>Tabla 4.7.</b> Volumen inicial de las pilas de compostaje M1 (RSOU-EG), M2 (RSOU-EV) Y M3 (RSOU-EU).....	110
<b>Tabla 4.8.</b> Volumen final de las pilas de compostaje M1 (RSOU-EG), M2 (RSOU-EV) Y M3 (RSOU-EU).....	110
<b>Tabla 4.9.</b> Parámetros físicos del compost maduro en las tres pilas.....	111
<b>Tabla 4.10.</b> Balance de masa en la obtención del compost.....	112
<b>Tabla 4.11.</b> Análisis fisicoquímico de compost obtenido .....	113
<b>Tabla 4.12.</b> Análisis microbiológico de compost obtenido.....	113
<b>Tabla 4.13.</b> Calidad de compost obtenido con respecto a CONAM.....	114
<b>Tabla 4.14.</b> Calidad de compost obtenido con respecto a la norma de Chile .....	116
<b>Tabla 4.15.</b> Comparación del compost obtenido en pila en Juli, con respecto al compost en poza, a partir de residuos sólidos orgánicos urbanos con adición de estiércol de vacuno .....	117
<b>Tabla 4.16.</b> Comparación del compost obtenido en pilas en la ciudad de Juli a partir de residuos sólidos orgánicos urbanos con adición de estiércol de gallina, ovino y vacuno respecto a lo obtenido por CEPIS a partir de residuos de mercados .....	118
<b>Tabla 4.17.</b> Códigos de importancia de la ubicación entre ambientes.....	126
<b>Tabla 4.18.</b> Códigos de los motivos de proximidad entre departamentos .....	126
<b>Tabla 4.19.</b> Área de recepción, pesaje y almacenamiento de materia prima .....	131
<b>Tabla 4.20.</b> Área de trituración de materia orgánica.....	132
<b>Tabla 4.21.</b> Área de deshidratación de materia orgánica .....	132
<b>Tabla 4.22.</b> Área de compostaje.....	133
<b>Tabla 4.23.</b> Área de tamizado .....	134
<b>Tabla 4.24.</b> Área de pesaje y embolsado.....	134
<b>Tabla 4.25.</b> Área de almacén de producto terminado .....	135

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> . Compostaje en montones o pilas.....	52
<b>Figura 2.</b> Cubierta del área de compostaje. ....	53
<b>Figura 3.</b> Etapas de proceso de compostaje, atendiendo a la evolución de la temperatura.....	64
<b>Figura 4.</b> Ubicación del lugar de investigación. ....	78
<b>Figura 5.</b> Visualización de la ciudad de Juli en tres zonas de trabajo. ....	82
<b>Figura 6.</b> Ubicación de la elaboración de las pilas de compostaje .....	86
<b>Figura 7.</b> Distribución de las pilas de compostaje.....	86
<b>Figura 8.</b> Acopio de restos de comidas.....	87
<b>Figura 9.</b> Acopio de estiércol de gallina, vacuno y ovino .....	87
<b>Figura 10.</b> Preparación de terreno, limpieza y nivelación .....	88
<b>Figura 11.</b> Techado de área de compostaje con material plástico. ....	88
<b>Figura 12.</b> Diagrama de flujo del proceso de compostaje para obtención de compost. ....	95
<b>Figura 13.</b> Composición física de residuos sólidos urbanos zona alta, media y baja..	104
<b>Figura 14.</b> Composición física de los residuos sólidos orgánicos urbanos en la ciudad de Juli. ....	106
<b>Figura 15.</b> Dinámica de la temperatura en la pila de compostaje a partir del armado hasta la maduración del compost. ....	108
<b>Figura 16.</b> pH en las pilas de compostaje de residuo sólido orgánico urbano con adición de estiércol de gallina, vacuno y ovino. ....	109
<b>Figura 17.</b> Sistema de flujo y manejo de materiales.....	121
<b>Figura 18.</b> Sistema de flujo y manejo de materiales en el área de producción.....	122
<b>Figura 19.</b> Diagrama de relaciones para los ambientes. ....	127
<b>Figura 20.</b> Dimensiones de la pila a Compostar.....	129
<b>Figura 21.</b> Distribución de ambientes de la planta de compostaje. ....	136

### LISTA DE ABREVIATURAS

<b>PPC</b>	: Producción per cápita
<b>RSD</b>	: Residuos Sólidos Domiciliarios
<b>N</b>	: Nitrógeno
<b>P</b>	: Potasio
<b>C</b>	: Carbono
<b>DQO</b>	: Demanda Química de Oxígeno
<b>CIC</b>	: Capacidad de intercambio catiónico
<b>RSU</b>	: Residuos sólidos urbanos
<b>pH</b>	: Potencial hidrogeno
<b>CONAM</b>	: Consejo Nacional del Ambiente
<b>CEPIS</b>	: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente
<b>Tci</b>	: Tasa de crecimiento poblacional

### LISTA DE FÓRMULAS

<b>Fórmula 1</b>	Estimación teórica de Producción Per Cápita (PPC).....	36
<b>Fórmula 2</b>	Caracterización de residuos sólidos.....	37
<b>Fórmula 3</b>	Determinación del número de muestras.....	81

## RESUMEN

La investigación se realizó en la ciudad de Juli, provincia de Chucuito - Puno, con el objetivo de proponer una planta de tratamiento para la obtención de compost a partir de los residuos sólidos orgánicos urbanos; se realizó la caracterización de los residuos sólidos, la metodología consistió en la selección de viviendas al azar por zonas (alta, media y baja), como resultado promedio el 12% es materia orgánica y el 88% inorgánica, tiene una producción per cápita de 0.4 kg/hab/día, produce 3597 kg de residuos sólidos urbanos anuales, 428 kg de material orgánico, 3170 kg inorgánico; se obtuvo compost con influencia de estiércol en un sistema abierto (pilas con volteo) en una instalación piloto y se determinó su calidad, la metodología empleada fue según (Szten y Prava, 1999), muestra 1 (80 kg de materia orgánica + 15 kg estiércol de gallina), muestra 2 (135 kg de materia orgánica + 54 kg estiércol de vacuno), muestra 3 (112 kg de materia orgánica + 54 kg estiércol de ovino), los resultados comparados con los parámetros de CONAM y NORMA CHILENA (N Ch 2880 of 2004), la muestra 3 con resultados físico químico pH=8, C.E dS/m=8, %M.O.=54, %C=29, %N=2, C/N=15, %P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>=3, %K<sub>2</sub>O=2, en un tiempo de compostaje de 90 días, mostro mejor resultado; para la propuesta de diseño de una planta de tratamiento se identificaron el funcionamiento para la obtención de compost, como resultado se distribuyeron áreas de trabajo en 1440 m<sup>2</sup>, conformada por área de recepción, trituración, deshidratación, apilado, fermentación y maduración, tamizado y pesaje, embolsado y despacho, almacenamiento. En conclusión con la propuesta de una planta de tratamiento de residuos sólidos orgánicos se llegara a producir 70 tn/año de compost, de esta manera disminuir el problema de generación de residuos sólidos orgánicos urbanos producidos en la ciudad de Juli.

**Palabras claves:** Residuos sólidos, compost, materia orgánica, planta de tratamiento.

## ABSTRACT

The research was carried out in the city of Juli, province of Chucuito - Puno, with the objective of proposing a treatment plant to obtain compost from urban organic solid waste; the characterization of the solid waste was carried out, the methodology consisted in the selection of houses randomly by zones (high, medium and low), as an average result 12% is organic matter and 88% inorganic, has a per capita production of 0.4 kg / inhab / day, produces 3597 kg of annual urban solid waste, 428 kg of organic material, 3170 kg inorganic; compost with influence of manure was obtained in an open system (piles with turning) in a pilot installation and its quality was determined, the methodology used was according to (Szten and Prava, 1999), sample 1 (80 kg of organic matter + 15 kg chicken dung), sample 2 (135 kg of organic matter + 54 kg cow dung), sample 3 (112 kg of organic matter + 54 kg sheep manure), the results compared with the parameters of CONAM and CHILE NORMA (N Ch 2880 of 2004), sample 3 with physical chemical results pH = 8, CE dS / m = 8, % MO = 54, % C = 29, % N = 2, C / N = 15, % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> = 3, % K<sub>2</sub>O = 2, in a 90-day composting time, showed better results; for the design proposal of a treatment plant, the operation for the compost was identified, as a result work areas were distributed in 1440 m<sup>2</sup>, formed by reception area, crushing, dehydration, stacking, fermentation and maturation, sieving and weighing , bagging and dispatch, storage. In conclusion, with the proposal of a solid waste treatment plant, 70 tons / year of compost will be produced, thus reducing the problem of generating urban organic solid waste produced in the city of Juli.

**Keywords:** Solid waste, compost, organic matter, treatment plant.

## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y

### OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

#### 1.1. Introducción

Según (LEY N° 27314-2000, 2000) en la Ley General de Residuos Sólidos del Perú – LEY N° 27314-2000; en el Artículo 14 establece que los residuos sólidos son aquellas sustancias, productos y subproductos en estado sólido o semisólido de los que su generador dispone, o está obligado a disponer, en virtud a lo establecido en la Normatividad Nacional o de los riesgos que causan a la salud y el ambiente, para ser manejados a través de un sistema que incluya según corresponda las siguientes operaciones o procesos: Minimización de residuos, segregación en la fuente, reaprovechamiento, almacenamiento, recolección, comercialización, transporte, tratamiento, transferencia, disposición final.

La ganadería tradicional implicaba una estrecha interrelación entre el ganado y la actividad agrícola, en las pequeñas granjas. Por ello el valor del estiércol era reconocido como una forma de fertilizar el suelo, incluso hasta principios del siglo XX. El desarrollo de la agricultura moderna mejoró la eficiencia de la producción, llevándolo a su especialización.

La consecuencia más inmediata fue la separación de la ganadería de la agricultura, lo que lleva a la utilización de fertilizantes inorgánicos para los cultivos. Esto llevó a la producción de estiércol en exceso en áreas concentradas sin suelo agrícola suficiente para su aplicación, por lo que comenzó a considerarse un 'residuo'. La acumulación de estiércol en áreas determinadas de ganadería intensiva genera problemas como la emisión de malos olores, lixiviación a aguas subterráneas y superficiales, contaminación del suelo por aplicación de dosis excesivas (Burton y Turner, 2003).

El proceso de degradación biológico de residuos orgánicos está documentado desde el Siglo I d.C. (Holgado y Columela, 1988). Desde entonces los agricultores han seguido esta práctica (degradación natural) utilizando el producto resultante como abono. Los productos así obtenidos no siempre conservan su potencial nutritivo debido a la falta de control sobre el proceso. Actualmente (Helynen, 2004); el control, tanto del proceso de producción (compostaje) como del producto final (compost) se hace necesario para asegurar una óptima calidad y mínimos costos.

El compostaje se basa en la acción de diversos microorganismos aerobios (Haug R.T., 1993), que actúan de manera sucesiva, sobre la materia orgánica original, en función de la influencia de determinados factores, produciendo elevadas temperaturas, reduciendo el volumen y el peso de los residuos y provocando su humificación y oscurecimiento (Nakasaki et al., 2005). Durante este proceso se han de controlar los distintos factores que aseguren una correcta proliferación microbiana y, por consiguiente una adecuada mineralización de la materia orgánica (Cronje et al., 2003).

El constante empobrecimiento de los suelos, así como de la sobreproducción, de residuos de carácter orgánico, han propiciado en las últimas décadas la utilización de tales materiales con objeto de, por una lado, paliar el déficit de materia orgánica y, por otro, solventar el problema que genera la acumulación de sub productos de fuerte impacto ambiental y sanitario (Marcote et al., 2001). La estabilización de estos residuos de forma previa a su aplicación mediante técnicas como la de compostaje, ayuda a disminuir los efectos negativos que la materia orgánica fresca de naturaleza residual puede ocasionar en el suelo (Sanchez et al., 2004).

En el ámbito del Departamento de Puno y básicamente en la Ciudad de Juli no se tiene una instalación de planta de tratamiento de aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos, por lo que este trabajo de investigación propone planta de tratamiento para el aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos a través de una instalación piloto para la ciudad de Juli.

## **1.2. Planteamiento del problema**

El crecimiento poblacional en la ciudad de Juli, de acuerdo al Censo Poblacional y vivienda de los años 2007 al 2013 ha ido en aumento, se puede deducir que la población urbana de Juli, en el año de 2007 fue de 8,157 habitantes y de acuerdo al Censo de 2013 fue de 8,992 habitantes, un incremento de 835 con una tasa de crecimiento de 1.26 % (INEI 2007 y 2013). Es un hecho que año tras año, el aumento de los residuos sólidos, obedece al crecimiento poblacional y a sus tendencias que confirman la creación de una nueva cultura, que todo lo que utiliza es desechable.

Uno de los problemas más difíciles de tratar con respecto al manejo de los residuos sólidos es que los sitios de disposición final de los residuos son cada vez más escasos. Y debido a su presencia se podrían generar impactos ambientales, tales como, “la contaminación de acuíferos y olores desagradables para la ciudadanía, junto con la aparición de vectores sanitarios” (Rihm., 2004).

Disminuir el volumen de los residuos que se generan y en segunda instancia los que llegan a disposición final es fundamental, y de ahí la consideración de adoptar diversas formas de “reutilización de los desechos, como por ejemplo el reciclaje del papel, vidrios, envases, minerales, pilas, baterías y materia orgánica” (Rihm., 2004).

La preocupación de disminuir y recuperar los residuos antes de que sean llevados al relleno sanitario, es una propuesta que se ha desarrollado en varios municipios, esto con la finalidad de disminuir el porcentaje de residuos que son llevados a los rellenos y utilizar este medio para recuperar espacios de áreas verdes entre otras cosas.

Un manejo apropiado de los residuos junto con un buen uso de las materias primas, la minimización de los residuos y la implementación de políticas de reciclaje tiene como beneficio principal la conservación y en algunos casos la recuperación de los recursos naturales, tal es el caso del compostaje, que recicla la fracción orgánica contenida en los diversos tipos de residuos sólidos (Rihm., 2004).

“El compostaje es un proceso biológico en el cual las materias orgánicas se transforman en humus (abono orgánico) a través de microorganismos. De tal manera, que sean aseguradas las condiciones necesarias (tamaño, contenido de

humedad, aireación, temperatura, pH, relación carbono/nitrógeno y composición de los residuos), se realiza la fermentación aeróbica de estas materias. Luego del proceso de compostaje, el producto el humus se llama “compost” o “mejorador de suelo”, es impecable desde el punto de vista de higiene y se puede utilizar para la horticultura, agricultura, selvicultura, el mejoramiento del suelo o la arquitectura del paisaje” (Röben., 2002).

### **Problema General**

¿Qué alternativa de planta de tratamiento sería el ideal para aprovechar los residuos sólidos orgánicos urbanos en la ciudad de Juli?

### **1.3. Antecedentes de la investigación**

Según (*Monge y Wharwood, 1993*), en el proyecto de investigación “compostificación de residuos de mercado”, uno de sus objetivos fue: determinar la factibilidad técnica de la producción de compost utilizando residuos de mercado y llegaron a las siguientes conclusiones: que utilizando los residuos de mercado para la producción de compost, el producto obtenido representa aproximadamente el 30% de la materia prima empleada.

La variación de temperatura observada en pilas durante el proceso es un indicativo de la actividad bioquímica que tiene lugar en la masa de compostificación. En todas las pila, a los 5-7 días de iniciado el proceso se detectaron temperaturas altas que variaron entre 60 – 69 °C, lo cual es un factor importante para la destrucción de ciertos microorganismos patógenos.

Se observa que, pasado un tiempo de aproximadamente 3 semanas, la temperatura empieza a disminuir, en un proceso normal de compostificación en un

indicativo de que la actividad metabólica se va completando, que la fermentación es menos activa y necesita menos cantidad de oxígeno y humedad y que la temperatura empieza a estabilizarse con la del ambiente.

Cuando los periodos de volteo son cortos (3-4 días) la aireación del material es buena y la flora activa sufre cambios cuantitativos y cualitativos. La población mesófila es remplazada por especies hemofílicas, que continúan con el proceso de fermentación. Esto se comprueba en las lecturas de temperatura de las pilas, donde se observa que el comportamiento de este parámetro revela una fermentación mesófila seguida de una termófila.

Se ha determinado que el tiempo mínimo necesario para la producción de compost es de 60 días. Los siguientes 30 días son necesarios para la completa maduración del compost. La frecuencia óptimo de volteo es: durante la primera etapa (aproximadamente 3 semanas) cada 4-6 días, y durante la segunda etapa (9 semanas) hasta un máximo de 90 días, cada 6-12 días, de acuerdo a la evaluación de los resultados obtenidos en cuanto a la reducción de coliformes fecales y totales, entre otros.

Según (*Altamirano y Cabrera., 2006*), en el “Estudio comparativo para la elaboración de compost por técnica manual”, teniendo como objetivo: establecer la comparación de dos muestras de compost de elaboración manual en poza uno con restos orgánicos (estiércol de vaca) y el otro con rastrojos (estierco de cuy), concluyendo que la técnica manual de elaboración de compost es una forma sencilla, sanitaria y barata de resolver el problema de los residuos sólidos orgánicos y, además se puede obtener un producto que pueda dar beneficio a los que necesiten un suelo sano y fértil.

La elaboración manual de compost constituye una tecnología apropiada para países en vías de desarrollo, donde la mano de obra es relativamente barata y la tecnología sofisticada es costosa y, en muchos casos difícil de manejar. El compostaje es un procesos aerobio, es decir que ocurre en presencia de oxígeno, que se provee de diversas formas: por volteos de pila ya sea manual o mecánicamente.

Por una correcta construcción de la pila, que permita al aire difundirse hasta el centro. En el estudio comparativo realizado se encontró. En la poza 1, el tiempo de proceso fue de 3 meses y una semana, en la poza 2, el tiempo de proceso fue de 4 meses y 2 semanas. El color de las muestras de compost fue: el de la poza 1, que contiene materia orgánica, es más oscuro que el de la poza 2 que contiene rastrojo.

Comparando los resultados de los análisis obtenidos de cada poza con las propiedades generales de un compost para ser comercializado según la OMS los dos compost obtenidos cumplen con los rangos normales.

Según (*Leconte, et al. 2003*), en sus investigaciones; “influencia del porcentaje de estiércol vacuno en el pH de compost de residuos agroindustriales”. Se trabajó con un diseño en bloques completos al azar con 8 tratamientos y 4 repeticiones. Los tratamientos fueron: 1) el 100% aserrín, 2) 90% aserrín + 10% estiércol; 3) 80% aserrín + 20% estiércol; 4) 70% aserrín + 30% estiércol; 5) 100% cascarilla de arroz; 6) 90% cascarilla de arroz + 10% estiércol; 7) 80% cascarilla de arroz + 20% estiércol; 8) 70% cascarilla de arroz + 30% estiércol.

Se determinó el pH luego de 180 días luego de iniciado el proceso de compostaje de los mismos. Se midió el PH potenciométrico. Teniendo como resultados que: El tratamiento 1 tuvo pH ácido, los tratamientos 2, 3,5 y 6 tuvieron

pH neutro y el tratamiento 4,7 y 8 alcalino. El tratamiento 1 se diferenció significativamente del resto de los tratamientos. Los tratamientos 2 y 5 se diferenciaron de todos menos del 3. El tratamiento 8 se diferenció significativamente del 1, 2,3 y 5. Llegando a la siguiente conclusión: el pH fue mayor cuanto mayor fue la proporción de estiércol en el tratamiento. También fue mayor en los tratamientos con cascarilla de arroz que en los que contenían aserrín.

Según (*Lopez y Fabelo, 2006*), en el trabajo de investigación “obtención del compost usando la fracción orgánica de residuos sólidos urbanos en la universidad central “Marta Abreu de las Villas”. Algunos de sus objetivos fueron: caracterización de la materia prima a compostar y evaluar la calidad del compost obtenido.

Teniendo como resultado que los residuos sólidos orgánicos urbanos generados en la UCMALV cumplen con los requisitos para ser sometidos al proceso de compostaje dado por la relación C/N de los mismos y demás parámetros. El compost obtenido es de buena calidad por los valores de los parámetros fundamentales e independientes por la tecnología empleada, pH: 6.97 y 7.1, C.E.: 1970 uS/cm y 1950 us/cm, materia orgánica (%): 64.0 y 63.50, Carbono orgánico (%): 35.50 y 35.38, Nitrógeno total (%): 2.80 y 2.62, Relación C/N: 12.67 y 13.50.

Según (*Comando y Antonio, 2006*), en su tesis doctoral, “optimación del compostaje de residuos sólidos orgánicos urbanos en proceso de serie aerobio – anaerobio” teniendo uno de sus objetivos: la investigación de la calidad de la materia orgánica y de las condiciones del proceso de digestión anaerobia seguida de aerobia, a partir de residuos solido urbanos. Compostaje en digestores que

fueron cargados con una mezcla de residuos de comida de comedor y jardinería en distintas proporciones y fangos resultados de la digestión anaerobia.

Obtuvo como resultado en los ensayos de compostaje aerobio todos los digestores independientemente de las proporciones de la mezclas, los residuos siempre han tenido un proceso de crecimiento de temperatura hasta la segunda semana al máximo, y se ha seguido como un periodo de decrecimiento paulatino y estabilidad de temperatura superior a la temperatura ambiental.

También se verifico que con la degradación de la materia al final del proceso hay un decrecimiento de la materia orgánica y un crecimiento de la materia inorgánica. El decrecimiento de la materia orgánica durante el proceso de compostaje ha sido causado por transformaciones bioquímicas que han ocurrido de forma más activa hasta la sexta semana para cada digestor.

La calidad de compost obtenido en cada digestor se diferencia en sus características unos con otros aunque sean del mismo grupo de residuos con proporciones de mezclas iguales. Con la técnica aplicada se ha logrado una producción de compost en ocho semanas y se ha conseguido un compost de calidad adecuada para fines agronómicos.

Según (*Corona, 2007*), en su Tesis “Efecto de dos formas de descomposición y tres tipos de estiércol en la calidad de compost agrícola” se planteó lo siguiente: ¿Podría influir el tipo de excreta utilizada para la elaboración de compost en las propiedades físicas y químicas del mismo? y ¿Con cuál de los métodos de descomposición utilizados tradicionalmente se obtienen mejores resultados en cuanto a la efectividad de descomposición?.

Teniendo como objetivo general: comparar la calidad del compost de tres tipos de estiércol utilizando dos formas de descomposición. Y como objetivo específico: determinar la influencia que ejerce el tipo de excreta en el nivel de fertilidad de compost.

Medir la proporción de nutrientes disponibles para las plantas generadas por cada tipo de estiércol en combinación en las formas de descomposición y evaluar cual método de descomposición genera mayor proporción de nutrientes disponible para las plantas: llegando así a las siguientes conclusiones:

Las proporciones de nutrientes que aporta el estiércol avino arrojan mayores niveles de %N, %P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y CaO, en comparación con los estiércoles de conejo y bovino, respectivamente. El estiércol de bovino produce mayores proporciones de carbono en forma disponible para las plantas. El estiércol de conejo posee las más altas proporciones de potasio, hierro y magnesio, en cambio, el nitrógeno, fósforo y carbono fueron los de menor porcentaje.

La combinación de estiércol de ovino con la descomposición en fosa dio como resultado los más altos porcentajes de fósforo y calcio. La descomposición en montón generó las mayores proporciones de %MgO y %Fe la interacción de estiércol de bovino con la descomposición en fosa produjo las mayores proporciones de potasio y de nitrógeno disponibles para las plantas.

Según (Martinez, et al., 2008), en la investigación “Evaluación del compostaje de los residuos del procesamiento de la cebolla” el compostaje de los residuos de las plantas de empaque de cebolla sería una alternativa de manejo sustentable que permitiría, por un lado la eliminación de volúmenes importantes de

los restos generados durante el procesamiento del cultivo y por el otro un aprovechamiento de los mismos para su utilización como enmienda orgánica.

El objetivo central del presente trabajo es evaluar la factibilidad del proceso de compostaje de estos residuos utilizando distintas mezclas orgánicas. Se realizaron tres tratamientos de compostaje en condiciones de campo: cebolla - estiércol (C+E), cebolla-alfalfa (C+A) y cebolla-estiércol-alfalfa (C+E+A). Se evaluó el comportamiento térmico y determinaron las principales características físicas, químicas y calidad de compost obtenido.

Los resultados alcanzados indican la posibilidad de reciclar los residuos de cebolla cuando son utilizados en mezcla con materiales de baja relación C/N. los residuos de cebolla con estiércol vacuno y alfalfa (CEA) alcanzaron los mejores valores de auto calentamiento y una mayor eficiencia de conversión de estos residuos de compost. El compost obtenido en las tres mezclas empleadas cumpliría con los parámetros de calidad para su utilización como enmienda orgánica para ser utilizado en agricultura.

## **1.4. Justificación**

### **1.4.1. Justificación técnica**

El compostaje es un método sencillo en el cual se aplica una tecnología simple siendo la técnica que se utiliza en esta investigación un sistema abierto (pilas con volteo) y de fácil manejo en nuestro medio ya que se cuenta con la mayoría de materiales y materia prima, en este caso la materia orgánica el cual es producido día tras día por la población de la ciudad de Juli.

#### **1.4.2. Justificación económica**

El presente trabajo de investigación se realiza con materia prima que está a nuestro alcance y a un proceso de compostaje que no requiere una tecnología de alto costo.

#### **1.4.3. Justificación social**

Tendrá incidencia en el cuidado del medio ambiente, tener una ciudad más limpia y que los residuos sólidos orgánicos no sean un problema, sino que a partir de ello se obtenga productos nuevos, en este caso el compost, un producto que será utilizado en la agricultura en el medio rural del distrito de Juli.

La ciudad de Juli está en un crecimiento económico favorable, principalmente aprovechando sus oportunidades y fortalezas que los caracterizan, este desarrollo, trae consigo beneficios a la población, como también generación de residuos sólidos orgánicos e inorgánicos, a los cuáles no se les da un manejo adecuado.

Estos residuos sólidos generados por la ciudad de Juli acarrearán un gran impacto sobre suelo, agua, fauna, flora y el componente humano, la ciudad de Juli no cuenta con una gestión de residuos sólidos el cual podría ayudar a controlar al impacto negativo que se genera.

La caracterización es un tema importante, debido a que es el primer paso para poder plantear el diseño, es por tal motivo que se realizara recopilación de información existente en las entidades más responsables acerca del tema.

#### 1.4.4. Justificación ambiental

La obtención del compost es una manera de reciclar los residuos sólidos orgánicos y luego reincorporarlos a la naturaleza para que de esta manera se mantenga el equilibrio ecológico, ya que la materia orgánica es la que se degrada con mayor facilidad y expenden fuerte olores no deseados, en todos los botaderos en los cuales están mezclados con materia inorgánica forman una serie de complejos que muchas veces son muy tóxicos y dañinos para todo ser vivo.

#### 1.4.5. Justificación académica

Existe muy poca documentación teórica y experimental en nuestra región con respecto a la obtención del compost, a la composición de residuos sólidos orgánicos urbanos, proceso de compostaje, calidad de compost y el tiempo promedio de obtención de compost, más aun propuestas de plantas de tratamiento, con este trabajo de investigación en el cual se propone una alternativa de planta de tratamiento de residuos sólidos orgánicos urbanos a través de una instalación piloto de obtención de compost, se quiere ampliar a volúmenes mayores en distintas ciudades el buen manejo de residuos orgánicos.

El presente trabajo de investigación ayudará a la aplicación práctica a uno de los problemas más frecuentes debido a factores climáticos y químicos “suelos infértiles” dándoles propiedades para lograr ser suelo fértil.

## 1.5. Objetivos

### 1.5.1. Objetivo general

- Proponer una planta de tratamiento para la obtención de compost a partir de los residuos sólidos orgánicos urbanos en la ciudad de Juli.

### 1.5.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar los residuos sólidos orgánicos urbanos producidos en la ciudad de Juli.
- Determinar la calidad de compost con los residuos sólidos orgánicos urbanos y adición de estiércol.
- Propuesta de un diseño de planta de tratamiento para la elaboración de compost.

## 1.6. Hipótesis

### 1.6.1. Hipótesis General

La planta de tratamiento de residuos sólidos orgánicos urbanos en Juli para la obtención de compost va a disminuir la cantidad de residuos sólidos urbanos.

### 1.6.2. Hipótesis específicos

- La caracterización de los residuos sólidos orgánicos urbanos en Juli nos permite identificar los alimentos de fácil biodegradación y estos varían dependiendo de la ubicación de viviendas.
- La adición de estiércol influye positivamente en la calidad de compost obtenido en una instalación piloto en un sistema abierto.

- La propuesta de diseño planta de tratamiento para la elaboración de compost es funcional.

### 1.6.3. Operacionalización de Variables

Variable Independiente (Vi)	: Residuos sólidos orgánicos
Variable Interviniente (V Int.)	: Parámetros que condicionan el Compostaje
Variable dependiente (VD)	: Compost

**Tabla 1.1.** Operacionalización de variables

Variable	Dimensión	Indicador	Índice
<b>Residuo sólido orgánico (Vi)</b>	Características físicas y químicas de los residuos sólidos orgánicos	Composición física	%
		Humedad	%
		C/N	%
		Tamaño de partícula	mm
<b>Variables intervinientes (Vint)</b>	Parámetros que condicionan el compostaje	Temperatura	°C
		Aireación	Frecuencia de volteos
		Humedad	%
<b>Compost (Vd)</b>	Calidad del compost	Ph	Acides/basicidad
		C.E.	dS/m
		Materia orgánica	%
		Nitrógeno	%
		Carbono	%
		Fosforo	%
		Rel. C/N	%
Potasio	%		
Coliformes fecales	NMP		

## CAPITULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Residuos sólidos

Según (*LEY N° 27314-2000, 2000*), en la Ley General de Residuos Sólidos del Perú – LEY N° 27314-2000; en el Artículo 14 establece que los residuos sólidos son aquellas sustancias, productos y subproductos en estado sólido o semisólido de los que su generador dispone, o está obligado a disponer, en virtud a lo establecido en la Normatividad Nacional o de los riesgos que causan a la salud y el ambiente, para ser manejados a través de un sistema que incluya según corresponda las siguientes operaciones o procesos:

- Minimización de residuos
- Segregación en la fuente
- Reaprovechamiento
- Almacenamiento
- Recolección
- Comercialización
- Transporte
- Tratamiento
- Transferencia

- Disposición final

Los residuos sólidos a diferencia de los afluentes líquidos o las emisiones gaseosas, el tiempo de degradación de los mismos en un buen porcentaje es bastante grande, acumulándose en el suelo, subsuelo o cuerpos de agua superficiales o subterráneos, contaminándolos (Alcas, et al., 2005).

### **2.1.1. Clasificación de residuos sólidos**

Los residuos sólidos se pueden clasificar de varias formas. Tomaremos las siguientes clasificaciones: por origen y por características, según la normativa nacional existente (*Ley N° 27314, 2000*).

#### ***2.1.1.1 Clasificación por origen***

##### ***a. Residuo domiciliario.***

Es aquel que se genera de las distintas actividades domésticas y varía en función de factores culturales asociados a los niveles de ingreso, hábitos de consumo, desarrollo tecnológico y estándares de calidad de vida de la población.

##### ***b. Residuo industrial.***

Será función de la tecnología del proceso productivo, calidad de materias primas o productos intermedios, combustibles utilizados, envases y embalajes del proceso.

##### ***c. Residuo Comercial***

Estará en función del tipo de actividad que se realice. Estará fundamentalmente constituido por material de oficina, empaques y algunos restos orgánicos.

*d. Residuo de limpieza de espacios públicos*

Producto de la acción de barrido y recojo en vías públicas.

*e. Residuo de las actividades de construcción*

Constituidos por residuos producto de demoliciones o construcciones.

*f. Residuo agropecuario*

Generados de actividades agrícolas y pecuarias, estos residuos incluyen los envases de fertilizantes, plaguicidas, agroquímicos, entre otros.

*g. Residuo de establecimiento de atención de salud*

Son generados como resultado de tratamiento, diagnóstico o inmunización de humanos o animales.

*h. Residuo de instalaciones o actividades especiales*

Residuos que no pueden asignarse a ninguno de los tipos anteriores.

**2.1.1.2 Clasificación por características y tipo de manejo**

*a. Residuo sólido especial.*

Son residuos que por su naturaleza son inherentemente peligrosos de manejar y/o disponer, pueden causar muerte o enfermedad. Entre los principales tenemos los hospitalarios, cenizas, producto de combustiones diversas, industriales, entre otros.

*b. Residuo sólido inerte.*

Residuos prácticamente estables en el tiempo, los cuales no producirán efectos ambientales apreciables al interactuar en el medio

ambiente, salvo el espacio ocupado. Algunos presentan valor de cambio (plásticos, vidrios, papel, entre otros.) y otros no (descartables, espuma sintética, entre otros).

*c. Residuo sólido orgánico*

Son residuos compuestos de materia orgánica que tienen un tiempo de descomposición bastante menor que los inertes. Ejemplo de estos son los restos de cocina, maleza, poda de jardines, entre otros.

### **2.1.2. Caracterización de residuos sólidos domiciliarios**

Los residuos domiciliarios son aquellos generados en las actividades domésticas de las viviendas, están constituidos por restos de alimentos, periódicos, revistas, botellas, embalajes en general, latas, cartón, pañales descartables, restos de aseo personal y otros similares (*Ley N° 27314, 2000*).

La caracterización de residuos sólidos domiciliarios, viene a ser el análisis de la cantidad y características de residuos que se generan en las viviendas y es un dato técnico sumamente importante que nos genera la suficiente información para mejorar la operatividad de cualquier sistema de gestión de residuos sólidos municipales (Alcas et al., 2005).

Es el análisis de la cantidad y características de los residuos sólidos municipales del ámbito municipal, que se generan en las viviendas, comercios, mercados, escuelas, entre otros. Es un dato técnico sumamente importante para mejorar la operatividad del sistema de gestión de residuos sólidos municipales. Esta información principalmente sirve de insumo para:

- Conocer la pertinencia del uso del equipamiento disponible.
- Diseñar y proyectar las necesidades de equipamiento nuevo.

- Establecer la generación de residuos sólidos, cobertura de recolección y disposición final, a nivel general y por zonas o barrios.
- Estimar la factibilidad del reciclaje o tratamiento alguno.
- Establecer la posibilidad de promover el reaprovechamiento de residuos a nivel masivo con participación de la población (CONAM, 2006).

### 2.1.3. Generación de residuos sólidos

#### 2.1.3.1. *Producción per cápita*

Se define como la producción de residuos sólidos domésticos, es una variable que depende básicamente del tamaño de la población y de sus características socioeconómicas.

Una variable necesaria para dimensionar el sitio de disposición final es la llamada producción per cápita (PPC). Este parámetro asocia el tamaño de la población, la cantidad de residuos y el tiempo, siendo la unidad de expresión el kilogramo por habitante por día (kg/hab/día).

#### 2.1.3.2. *Estimación teórica de producción per cápita (PPC)*

La PPC es un parámetro que evoluciona en la medida que los elementos que la definen varían. En términos gruesos, la PPC varía de una población a otra, de acuerdo principalmente a su grado de urbanización, su densidad poblacional y su nivel de consumo o nivel socioeconómico. Otros elementos, como los periodos estacionales y las actividades predominantes también afectan la PPC.

Es posible efectuar una estimación teórica de la PPC en función de las estadísticas de recolección y utilizando la siguiente expresión:

$$PPC = \frac{kg \text{ recolectados}}{N^{\circ} \text{ de habitantes}} \dots\dots\dots \text{fórmula 1}$$

Dónde:

PPC = Producción per cápita

Kg = kilogramos

N° = Numero de habitantes

### 2.1.3.3. *Caracterización de residuos sólidos*

La caracterización de los residuos sólidos se obtiene por la producción de residuos sólidos domiciliarios, de esta manera se obtiene el total de residuos domiciliarios generados de toda la ciudad.

Según la muestra estadística, se ha determinado a nivel de confianza al 95% de probabilidad, según los cálculos realizados, para determinar el tamaño de la muestra.

Para determinar la caracterización de residuos sólidos domiciliarios en la ciudad de Juli que se muestra a continuación, se ha determinado de la siguiente manera:

$$n = \left( Z_{1-\frac{\alpha}{2}}^2 N \delta^2 \right) / \left( (N-1)E^2 + \left( Z_{1-\frac{\alpha}{2}}^2 \delta^2 \right) \right) \dots\dots\dots \text{fórmula 2}$$

**Dónde:**

*N = total de viviendas*

*n = muestra de las viviendas*

*Z = nivel de confianza 95% = 1.96*

*δ = desviacion estandar*

*E = error permisible*

#### 2.1.4. Marco legal asociado al manejo de los residuos sólidos

Existen tanto normas internacionales como nacionales que delimitan el marco legal en el cual se desarrolla la gestión de los residuos sólidos y que constituye parte primordial en el presente estudio:

##### 2.1.4.1. Normas internacionales que influyen en la gestión de los residuos sólidos

En el plano internacional hay varias disposiciones que dictan pautas para la gestión ambiental, que repercuten directa e indirectamente en la gestión de los residuos sólidos, fundamentalmente, a partir de principios como:

1. *El desarrollo sostenible*: Que promueve un crecimiento económico armonizado en condiciones de igualdad, con la protección ambiental y la equidad social.
2. *El principio contaminador pagador*: Acuñado por los países industrializados en 1972. Este principio se plasma en una serie de instrumentos a través de los cuáles se promueve la internacionalización de los costos ambientales, es decir, que el titular de las actividades contaminantes asume, incluyendo en el precio de su producto o servicio, el costo de los impactos o daños causados al ambiente y a la población, y demás, el costo de las actividades desplegadas para la prevención y el control de la actividad potencialmente contaminante, que es desarrollada con fines lucrativos de beneficio particular.

3. *Principio de prevención:* Tiene por objeto proteger al hombre y su ambiente no sólo de los daños y peligros inminentes cuya erradicación absoluta se establece a través de una prohibición, sino de los posibles riesgos que deben evitarse para no exponer innecesariamente a la población, a daños ambientales que pueden tener efectos irreversibles.
  
4. *Principio de la cuna a la tumba:* Esta curiosa denominación encierra una importante premisa derivada de la legislación sobre el manejo de residuos industriales y en particular de los peligrosos. La responsabilidad de las personas que generaron los desechos se extiende a todo su ciclo de vida, desde que son producidos hasta que son dispuestos en su lugar de confinamiento. El titular de los residuos peligrosos no se exonera de la obligación de velar por su manejo adecuado, aun cuando los comercialice o transfiera a terceros. Así, si hubiera un accidente en alguna de las etapas del manejo, aquél será solidariamente responsable de los daños, con quien los causó directamente.

Estos principios se recogen de una serie de instrumentos internacionales como:

- a. *La Declaración de Río*

Que a través de 27 principios establece un conjunto de derechos y responsabilidades que deben ser asumidos por la comunidad internacional a fin de alcanzar el desarrollo sustentable.

*b. La Agenda 21*

Que establece un plan de acción para orientar la estrategia mundial del próximo siglo hacia el desarrollo sustentable. Este es un instrumento de gran importancia, porque define en sus aproximadamente 700 páginas y 115 áreas de programas agrupados en 40 capítulos, los lineamientos de las principales actividades que deberían realizarse con el fin de perfilar el desarrollo sustentable de la comunidad internacional, entre los cuales se encuentran capítulos referidos a: el consumismo, la salud humana y el manejo de los residuos sólidos.

*c. El Convenio de Basilea sobre el movimiento transfronterizo de los desechos peligrosos y otros desechos y su eliminación.*

Es un tratado ambiental que reúne a 117 Estados con el objeto de establecer ciertas obligaciones para el control del movimiento transfronterizo de desechos peligrosos. La minimización en la generación de desechos y el manejo ambientalmente racional o adecuado de los mismos hasta su disposición final.

Respecto de los principios establecidos en la normatividad internacional, cabe señalar que estos se han incorporado a nuestro ordenamiento legal, a través del código de medio ambiente y los recursos naturales y la ratificación del convenio de Basilea en 1993.

#### 2.1.4.2. Normas Nacionales que influyen en la gestión de residuos sólidos

La legislación Peruana sobre residuos sólidos es dispersa, inorgánica y heterogénea. Ha sido dictada por diversos órganos del estado, en distintos momentos y con criterios que carecen de una direccionalidad común. Ello se percibe incluso desde las propias denominaciones que se utilizan en las normas, pudiéndose encontrar términos como "residuos sólidos", "afluentes sólidos", "basuras", "desperdicios", "desechos sólidos", etc.

##### a. Constitución Política del Estado Peruano.

Artículo 2°. Toda persona tiene derecho:

Inciso 22: A la paz, a la tranquilidad, al disfrute del tiempo libre y al descanso, así como de gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida.

##### b. Ley General de Residuos Sólidos (Ley N° 27314) (21/07/2000)

En ella se pretende establecer un concepto único de los "residuos sólidos", y una clasificación uniforme de los mismos, para facilitar el tratamiento legal de los distintos aspectos involucrados en la gestión de los residuos sólidos. En ella se trata de regular de alguna manera todo el ciclo de vida de los residuos. Sin embargo existen algunos vacíos importantes que introducen distorsiones para la puesta en operación de un sistema integrado de gestión.

De todas formas es fundamental resaltar esta ley, ya que regula todo el manejo de los desechos en el país. Los cuales no

brindan temas importantes y fundamentales respecto a la gestión de residuos sólidos como por ejemplo:

El artículo 3° de la ley, nos habla de la finalidad de la gestión de los residuos sólidos en el país, es decir, su manejo integral y sostenible, mediante la articulación, integración y compatibilización de las políticas, planes, programas, estrategias y acciones de quienes intervienen en la gestión y el manejo de los residuos sólidos.

El artículo 4° de la ley, nos presenta lineamientos de política, que tienen los puntos que vale la pena resaltar tales como:

1. Desarrollar acciones de educación y capacitación para una gestión de los residuos sólidos eficiente, eficaz y sostenible.
2. Adoptar medidas de minimización de residuos sólidos, a través de la máxima reducción de sus volúmenes de generación y características de peligrosidad.
3. Establecer un sistema de responsabilidad compartida y de manejo integral de los residuos sólidos, desde la generación hasta su disposición final, a fin de evitar situaciones de riesgo e impactos negativos a la salud humana y el ambiente, sin perjuicio de las medidas técnicamente necesarias para el mejor manejo de los residuos sólidos peligrosos.
4. Fomentar el reaprovechamiento de los residuos sólidos y la adopción complementaria de prácticas de tratamiento y adecuada disposición final.

5. Promover el manejo selectivo de los residuos sólidos y admitir su manejo conjunto, cuando no se generen riesgos sanitarios o ambientales significativos.
  6. Promover la iniciativa y participación activa de la población, la sociedad civil organizada, y el sector privado en el manejo de los residuos sólidos.
  7. Fomentar la formalización de las personas o entidades que intervienen en el manejo de los residuos sólidos.
- c. *Decreto Legislativo N° 613, Código del medio ambiente y los recursos naturales (08/09/90).*

Tiene como objetivo la protección y conservación del medio ambiente y de los recursos naturales a fin de hacer posible el desarrollo integral de la persona humana con el fin de garantizar una adecuada calidad de vida.

Además involucra directamente al estado y los gobiernos locales en el tema de una adecuada de la gestión de los residuos sólidos.

Artículo 102°. Es obligación del estado, a través de los gobiernos locales, controlar la limpieza pública en las ciudades y todo tipo de asentamiento humano, considerando necesariamente las etapas de recolección, transporte y disposición final de los desechos domésticos, así como la educación de sus habitantes.

d. *Ley general de salud (Ley N° 26842) (20/07/97).*

Esta ley menciona en dos de sus artículos, aspectos vinculados a la protección y vigilancia del medio ambiente, con respecto a una inadecuada disposición de residuos sólidos.

Artículo 104°. Toda persona natural o jurídica, está impedida de efectuar descargas de desechos o sustancias contaminantes en el agua, el aire o el suelo, sin haber adoptado las precauciones de depuración en la forma que señalan las normas sanitarias y de protección al ambiente.

Artículo 107°. El abastecimiento de agua, alcantarillado, disposición de excretas, reúso de aguas servidas y disposición de residuos sólidos quedan sujetos a las disposiciones que dicta la autoridad de salud competente, la que vigilara su cumplimiento.

e. *Decreto supremo 01377SA.*

Reglamento para el aprovechamiento de productos no orgánicos recuperables de las basuras (29/11/77).

Dispone que son productos no orgánicos recuperables: los papeles y cartones, metales, vidrios, plásticos, madera y carbón, huesos y caucho.

Indica contrariamente a lo técnica y económicamente recomendado que la segregación deba realizarse en los rellenos sanitarios, esto es negativo ya que debe promoverse la segregación en la fuente.

*f. Ordenanza N° 295 (27/10/00)*

Crea el sistema metropolitano de gestión de residuos sólidos, tiene por objeto establecer las disposiciones que rigen los aspectos técnicos y administrativos del sistema metropolitano de gestión de residuos sólidos y determinar las responsabilidades de las personas naturales y jurídicas de derecho público y privado que generan residuos sólidos y de las que desarrollan actividades vinculadas a la gestión de los residuos sólidos.

## **2.2. El compost**

Según (Guerrero, 1993) menciona, el compost es un abono orgánico que resulta de la transformación de la mezcla de residuos orgánicos de origen vegetal y animal que han sido descompuestos bajo condiciones controladas. También se le conoce con el nombre de tierra vegetal.

Este abono orgánico proviene de un proceso biológico aeróbico (resultado de un proceso de humificación de la materia orgánica, bajo condiciones controladas y en ausencia de suelo), mediante el cual los microorganismos actúan sobre la materia rápidamente biodegradable (restos de cosecha, excrementos de animales y residuos urbanos), permitiendo obtener "compost", abono excelente para la agricultura, mejorando la estructura del suelo y ayuda a reducir la erosión y también ayuda a la absorción de agua y nutrientes por parte de las plantas.

Según (Pineda, 1994). El compostaje se puede definir como un proceso biológico que transforma la materia orgánica en humus (abono orgánico) debido a la actividad de los microorganismos que se desarrollan espontáneamente. Los principales organismos implicados en la transformación biológica aeróbica de los

residuos orgánicos son bacterias, hongos, levaduras y actinomicetos. Este proceso permite obtener un producto rico en, materiales humificables, sales minerales y microorganismos beneficiosos para mejorar la estructura de los suelos y la vida de las plantas.

La conversión en compost de los residuos orgánicos es una técnica conocida y de fácil aplicación, que permite tratar de manera racional, económica y segura, diferentes residuos orgánicos y conservar los nutrientes presentes en estos residuos, aprovechándolos en agricultura y jardines.

### **2.2.1. Origen del compost**

El compostaje, en sus orígenes, consistía en el apilamiento de los residuos de la casa, los excrementos de animales y los residuos de la cosecha, con el fin de que se descompusieran y se transformasen en productos más fácilmente manejables y aprovechables como abono.

Era un proceso lento y no siempre se conservaban al máximo los nutrientes vegetales contenidos en los residuos y casi nunca se aseguraba una higiene de la mezcla. Con el pasar de los años estas técnicas se fueron perfeccionando, logrando así mejorar el proceso de compostaje para obtener un abono orgánico de mejor calidad.

El desarrollo de la técnica del compostaje tiene su origen en la India, con las experiencias hechas por el inglés Albert Howard a principios del siglo XX. Su éxito consistió en combinar sus conocimientos científicos con los tradicionales de los campesinos. Su método se basaba en fermentar una mezcla de desechos vegetales y excrementos animales manteniéndolos húmedos.

Los resultados de este tratamiento son una reducción de masa y volumen, la reducción del contenido de humedad y la estabilización de la materia orgánica, permitiendo su uso agrícola o en jardinería.

### **2.2.2. Justificación de producción de compost**

El compostaje es tan viejo como el mundo, aunque está siendo re descubierto y potenciado con nuevos aportes bio tecnológicos. La necesidad de preservar vertederos, manipular grandes volúmenes de residuos orgánicos de forma que se evite la contaminación, y al mismo tiempo la obtención de un producto final reutilizable, ha desarrollado en los países industrializados una importantísima actividad compostadora.

De la devolución de la materia orgánica a las tierras agrícolas depende el mantenimiento de la fertilidad del suelo. La teoría de Leibig de la nutrición mineral, que reduce la alimentación de las plantas a nitrógeno, fósforo y potasio, ignorando la importancia de los oligoelementos y los microorganismos del suelo, dio pie al desarrollo de la industria de fertilizantes químicos y al abandono progresivo del abonado orgánico.

El desarrollo de la edafología (ciencia que estudia los suelos) ha confirmado que no sólo de nitrógeno, potasio y fósforo viven las plantas, y que en su crecimiento intervienen otros elementos químicos, así como hormonas, vitaminas, entre otros. La tierra fértil, en lugar de ser un mero soporte físico inerte, es un complejo laboratorio en el que tienen lugar procesos vivos.

Las tierras o suelos fértiles constan de cuatro componentes: materia mineral, materia orgánica (con abundancia de seres vivos), aire y agua.

Todos íntimamente ligados entre sí y originando un medio ideal para el crecimiento de las plantas. De estos componentes, la materia orgánica representa el menor porcentaje, tanto en peso como en volumen. A pesar de ello su importancia es muy grande y no sólo mejora las propiedades físicas y químicas de la tierra, sino el desarrollo de los cultivos.

#### ***2.2.2.1. Ventajas del uso del compost***

- Mejora la estructura del suelo al favorecer la formación y estabilización de los agregados modificando el espacio poroso del suelo, lo cual favorece el movimiento del agua y del aire, así como también la penetración de las raíces.
- Incrementa la capacidad de retención de nutrientes en el suelo, además liberan progresivamente el nitrógeno, fósforo, potasio, azufre, calcio, boro, hierro y otros elementos que son necesarios para el crecimiento de las plantas.
- Incrementa y favorece el desarrollo y la actividad de los organismos del suelo, los cuales participan en una serie de procesos que le dan salud y favorecen el crecimiento adecuado de las plantas (Guerrero, 1993).
- Aumenta la resistencia de las plantas al ataque de plagas y enfermedades a las cuales están expuestas continuamente.
- Se mejoran los rendimientos de la cosechas, lo que a la vez mejora la calidad de los productos provenientes de ellas (Sanchez, M., et al., 2004).

#### **2.2.2.2. Beneficios adicionales del compostaje**

- Se evitan residuos
- Los residuos orgánicos se han de tratar de una manera ambientalmente correcta
- Es una manera fácil para retornar el material orgánico al suelo, reduce la cantidad de residuo orgánico vertido al relleno.
- Este uso de los residuos es muy beneficioso para el medio, ya que se trata de una transformación natural y que, además de dar un destino a los residuos, proporciona un abono.

#### **2.2.3. Sistema de compostaje**

Existen varios sistemas de compostaje, no obstante, el objetivo de todos es además de transformar los residuos en compost, conseguir las condiciones consideradas letales para patógenos, parásitos y elementos germinativos (semillas, esporas).

Los distintos sistemas de compostaje se pueden agrupar en dos grandes clases:

1. Sistemas abiertos (o compostaje en pilas)
2. Sistemas cerrados (o en reactores)

##### **2.2.3.1. Sistema en camellones, parvas o pilas**

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

denomina *Sistema en Parvas o Camellones*. De acuerdo al método de aireación utilizada, este sistema se subdivide además en:

*a. Sistema en parvas o camellones móviles*

Es cuando la aireación y homogeneización se realiza por remoción y reconfiguración de las parvas.

*b. Sistema en camellones o parvas estáticas*

Es cuando la aireación se realiza mediante instalaciones fijas, en las áreas o canchas de compostaje los cuales permiten realizar una aireación forzada sin necesidad de movilizar las parvas.

#### **2.2.3.2. Sistema en reactores**

Otros procesos de compostaje, no se basan en la conformación de parvas. Los residuos orgánicos son procesados en instalaciones que pueden ser estáticas o dinámicas, que se conocen como *Reactores*. Básicamente los reactores, son estructuras por lo general metálicas: cilíndricas o rectangulares, donde se mantienen controlados determinados parámetros (humedad, aireación), procurando que los mismos permanezcan en forma relativamente constante.

Los reactores móviles además, posibilitan la mezcla continua de los desechos mediante dispositivos mecánicos, con lo que se logra un proceso homogéneo en toda la masa en compostaje. Este tipo de sistemas, permite acelerar las etapas iniciales del proceso, denominadas incorrectamente “fermentación”.

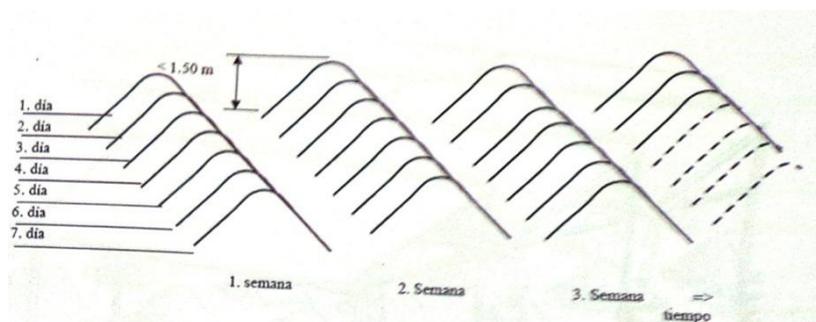
Finalizadas estas etapas activas biológicamente, el material es retirado del reactor y acopiado para que se cumpla la “maduración”. Los sistemas de compostaje en reactores son siempre sistemas industriales. Se aplican en aquellas situaciones donde diariamente se reciben volúmenes importantes de desechos, y para los cuales sería necesario disponer de superficies muy extensas. Tal es el caso de las grandes plantas de triaje y selección de residuos sólidos domiciliarios (R.S.D.), produce compost en forma industrial.

#### **2.2.3.3. *Compostaje en sistema abierto (compostaje en pilas)***

El compostaje en pilas es el sistema más antiguo y más sencillo. La operación de este sistema es muy fácil. Después de haber separado todo material foráneo (materiales no biodegradables) de la materia biodegradable que llega al relleno, el material se coloca en pilas triangulares. No debe superar un cierto máximo, y tampoco debe quedarse bajo un volumen mínimo. Para asegurar la proliferación de los microorganismos que realizan el compostaje, se necesita una “masa crítica” mínima de 50 – 100 kg de residuos sólido biodegradable.

Con esa masa, ya se puede prender y mantener durante un tiempo suficiente la reacción exotérmica del proceso aeróbico que asegura las temperaturas necesarias para la higienización del material. Esta “masa crítica mínima” es especialmente importante para el compostaje individual.

Para la aplicación por municipios, es más importante no superar el tamaño máximo de una pila. Si las pilas son más altas que 1.50 m, la aireación natural se impide y pueden ocurrir condiciones anaeróbicas (para sistemas de compostaje con aireación artificial, ese límite es de 2.50 -3.00 m). Una tonelada de basura corresponde aproximadamente a una pila (pila no aireada de 1.50 m. altura). Se formaran filas con los montones de basura; una fila correspondiente al material de una semana (Röben., 2002).



Fuente: Röben, 2002

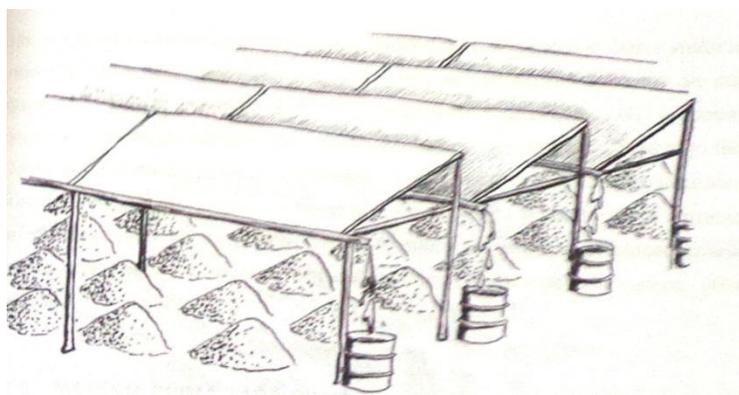
**Figura 1.** .Compostaje en montones o pilas.

Las pilas de material biodegradable se deben cubrir con pasto, hojas de planta de banano o material similar para evitar el problema de olor y no atraer las moscas. Una vez por semana se deben mezclar las pilas para airear y homogenizar el material. La mezcla revuelta del material se puede hacer manualmente con palas. Se debe remover el material de cobertura para la mezcla/ revuelta.

Si se realiza el compostaje en la Amazonia, es importante tomar en consideración las condiciones climáticas. Como la Amazonia es una región de alta pluviosidad, se estima que la precipitación será demasiado el material, pueden ocurrir condiciones anaeróbicas, lo que significa una putrefacción sin oxígeno. Bajo condiciones anaeróbicas,

se proliferan los malos olores y hay una alta producción del gas metano.

Cuando se construye el techo, es importante que no impida el ingreso de viento. Se recomienda hacer una construcción ligera abierta a los cuatro lados. El techo se puede cubrir con zinc o con materiales naturales de construcción (pasto, hojas de palma, helecho, fronda, bananero, entre otros).



*Fuente: Röben, 2002*

**Figura 2.** Cubierta del área de compostaje.

Se pueden poner ductos para conducir el agua de lluvia a recipientes. De esta manera, se puede acumular el agua de lluvia para el riego de las pilas (si necesitan riego), en lugar de traer agua de afuera, lo que sería difícil y costoso. El riego se puede hacer con regadoras manuales, como se utilizan en la horticultura (Röben., 2002).

La biodegradación principal ocurre durante los primeros 3 meses del proceso. Es importante que se haga regularmente la mezcla/revuelta del material y que se controle la humedad. Se puede medir la humedad con un método muy simple, sin instrumentos. Se toma una

pequeña cantidad del material en la mano y se aprieta el material. Si sales 2 – 5 gotas de agua, la humedad es buena. Si sales menos agua, se necesita regar; si sales más, el riego debe ser interrumpido o, si es por causa de demasiada lluvia, se debe construir un techo para la planta de compostaje (Röben., 2002).

El compost debe ser humedecido durante los primeros 3 meses. La duración total del proceso será de 6 meses. Después de este periodo, el compost será maduro y no contendrá ingredientes fitotóxicos, y bacterias patógenas y otros materiales nocivos. Si se cosecha el compost antes del periodo de 6 meses, no se puede garantizar que el producto este completamente higienizado.

Se recomienda construir el techo de manera que toda el área de compostaje se quede bajo techo. Como el volumen del material disminuya con el progreso de la biodegradación, se pueden combinar dos pilas para hacer una, con el fin de economizar el espacio. Si se combinan pilas, es importante que sean pilas que tengan aproximadamente la misma edad, para no mezclar compost maduro con compost inmaduro (Röben., 2002).

#### **2.2.4. Materia prima y características de los residuos a compostar**

Según (RUIZ, *et al.*, 2006) .Para la elaboración del compost se puede emplear cualquier materia orgánica, con la condición de que no se encuentre contaminada. Generalmente estas materias primas proceden de:

- *Restos de cosechas:* Pueden emplearse para hacer compost o como acolchado. Los restos vegetales jóvenes como hojas, frutos,

tubérculos, etc. Son ricos en nitrógeno y pobres en carbono. Los restos vegetales más adultos como troncos, ramas, tallos, etc. son menos ricos en nitrógeno.

- *Abonos verdes:* Siegas de césped, malas hierbas, etc.
- *Las ramas de poda de los frutales:* Es preciso triturarlas antes de su incorporación al compost, ya que con trozos grandes el tiempo de descomposición se alarga.
- *Hojas:* Pueden tardar de 6 meses a dos años en descomponerse, por lo que se recomienda mezclarlas en pequeñas cantidades con otros materiales.
- *Residuos urbanos:* Se refiere a todos aquellos restos orgánicos procedentes de las cocinas como pueden ser restos de fruta y hortalizas, restos de animales de mataderos, etc.
- *Estiércol animal:* Destaca el estiércol de vaca, aunque otros de gran interés son la gallinaza, conejina o sirle, estiércol de caballo, de oveja y los purines.
- *Complementos minerales:* Son necesarios para corregir las carencias de ciertas tierras. Destacan las enmiendas calizas y magnésicas, los fosfatos naturales, las rocas ricas en potasio y oligoelementos y las rocas silíceas trituradas en polvo.
- *Plantas marinas:* Anualmente se recogen en las playas grandes cantidades de fanerógamas marinas como Posidonia oceánica, que pueden emplearse como materia prima para la fabricación de compost ya que son compuestos ricos en N, P, C, oligoelementos y

biocompuestos cuyo aprovechamiento en agricultura como fertilizante verde puede ser de gran interés.

- *Algas*: También pueden emplearse numerosas especies de algas marinas, ricas en agentes antibacterianos y antifúngicos y fertilizantes para la fabricación de compost.

#### 2.2.4.1. *Características de los residuos a compostar*

Describimos aquellas características que consideramos relevantes de los residuos, y que inciden en forma directa en la evolución del proceso y en la calidad del producto final.

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

La relación C/N, expresa las unidades de carbono por unidades de nitrógeno que contiene un material. El carbono es un elemento necesario para la síntesis proteica. Una relación adecuada entre estos dos nutrientes, favorecerá un buen crecimiento y reproducción.

Una relación C/N óptima de entrada, es decir de material “crudo o fresco” a compostar es de 25 unidades de carbono por una unidad de nitrógeno, es decir  $C (25)/N (1) = 25$ . En términos generales, una relación C/N inicial de 20 a 30 se considera como adecuada para iniciar un proceso de compostaje. Si la relación C/N está en el orden de 10 nos indica que el material tiene relativamente más nitrógeno. Si la relación es de por ejemplo 40, manifiesta que el material tiene relativamente más carbono.

Un material que presenta una C/N superior a 30, requerirá para su biodegradación un mayor número de generaciones de microorganismos, y el tiempo necesario para alcanzar una relación C/N final entre 12 – 15 (considerada apropiada para uso agronómico) será mayor. Si el cociente entre estos dos elementos es inferior a 20 se producirán pérdidas importantes de nitrógeno.

Los residuos de origen vegetal, presentan por lo general una relación C/N elevada. Las plantas y montes, contienen más nitrógeno cuando son jóvenes y menos en su madurez. Los residuos de origen animal presentan por lo general una baja relación C/N. existen tablas, donde es posible obtener las relaciones de estos elementos para diferentes tipos de residuos.

A título orientativo, adjuntamos la siguiente tabla. Si se desconocen estas relaciones en el material a compostar, lo aconsejable es realizar en un laboratorio las determinaciones correspondientes ( Sztern y Prava, 1999).

**Tabla 2.1:** *Relación carbono nitrógeno de algunos residuos orgánicos*

Tipo de Materiales	Porcentaje en base seca		
	%C	%N	C/N
Aserrines	40	0.1	400
Podas, tallos, maíz	45	0.3	150
Paja de caña	40	0.5	80
Hojas de arboles	40	1	40
Estiércol de equino	15	0.5	30
Estiércol de ovino	16	0.8	20
Heno	40	2	20
Estiércol de bovino	7	0.5	15
Estiércol de suino	8	0.7	12
Estiércol de gallina	15	1.5	10
Harina de sangre	35	15	2

Fuente: Daniel Sztern y Miguel A. Pravia, 1999.

Puede suceder que el material que disponemos no presente una relación C/N inicial apropiada para su compostaje. En este caso, debemos proceder a realizar una mezcla con otros materiales para lograr una relación apropiada. Este procedimiento se conoce como: *Balance de Nutrientes*, con respecto al Balance de Nutrientes podemos sacar las siguientes reglas básicas:

1. Utilizando materiales con una buena relación C/N, no es necesario realizar mezclas.
2. Los materiales con relativo alto contenido en carbono deben mezclarse con materiales con relativo alto contenido en nitrógeno y viceversa.

*b. Estructura y tamaño de los residuos.*

Numerosos materiales pierden rápidamente su estructura física cuando ingresan al proceso de compostaje por ejemplo: excretas, otros no obstante son muy resistentes a los cambios, tal es el caso de materiales leñosos y fibras vegetales en general. En este caso la

superficie de contacto entre el microorganismo y los desechos es pobre, no olvide el carácter osmótrofo de la gran mayoría de las bacterias.

Cuando se presenta una situación de este tipo, por ejemplo disponemos de restos de podas de pequeño diámetro, debemos mezclar estos residuos con otros de diferente estabilidad estructural, de forma tal que aumente la superficie de contacto. Una opción sería la mezcla de estos restos de poda con excretas en proporciones tales que aseguremos una buena relación C/N de entrada.

Ante el caso de no disponer, de excretas u otro material de diferente estructura física, debemos recurrir al procesamiento del mismo, para lograr un tamaño adecuado y un proceso rápido. Las alternativas para este tipo de materiales leñosos y de gran tamaño es la utilización de trituradoras o chipeadoras.

Para un diámetro medio máximo de partículas de 20 mm resulta un incremento significativo de la biodisponibilidad y del tiempo de compostaje cuando se compara con partículas mayores a 80 mm, por lo que el tamaño indicado de 20 mm a 10 mm es aconsejable para este tipo de materiales.

Trituraciones, chipeados y posteriores moliendas donde se obtengan diámetros inferiores a aproximadamente 3 mm, no son aconsejables, ya que la acumulación de materiales con estos diámetros tienden a compactarse en los asentamientos de las parvas, con lo que disminuye en forma importante la capacidad de pasar por molino los

residuos sólidos urbanos en “crudo”, pretendiendo luego procesarlo como compost, lo cual está totalmente contraindicado.

Se obtenía un producto con alto contenido de impurezas inorgánicas que dificultaban su aplicación y convertían en peligrosa su manipulación por la presencia de vidrios y metales.

Aun hoy, en algunos lugares de España, los campesinos dicen “si la tierra brilla después del compost, no sirve”, por la presencia de vidrio molido que alteraba sus propiedades ( Sztern y Prava, 1999).

### *c. Humedad*

El contenido en humedad de los desechos orgánicos crudos es muy variable, tal es el caso de la excretas y estiércoles, donde el contenido en humedad está íntimamente relacionado con la dieta. Si la humedad inicial de los residuos crudos es superior a un 50 %, necesariamente debemos buscar la forma de que el material pierda humedad, antes de conformar las pilas o camellones.

Este procedimiento, podemos realizarlo extendiendo el material en capas delgadas para que pierda humedad por evaporación natural, o bien mezclándolo con materiales secos, procurando mantener siempre una adecuada relación C/N.

La humedad idónea para una biodegradación con franco predominio de la respiración aeróbica, se sitúa en el orden del 15 al 35% (del 40 al 60%, si se puede mantener una buena aireación). Humedades superiores a los valores indicados producirían un

desplazamiento del aire entre las partículas de la materia orgánica, con lo que el medio se volvería anaerobio, favoreciendo los metabolismos fermentativos y las respiraciones anaeróbicas.

Si la humedad se sitúa en valores inferiores al 10%, desciende la actividad biológica general y el proceso se vuelve extremadamente lento. El carácter osmótrofo de la gran mayoría de grupos fisiológicos, implica que con humedades inferiores al 20%, las poblaciones pasen a fases estacionarias o en condiciones extremas a fase de muerte, retardando o deteniendo el proceso de compostaje.

La humedad adecuada para cada etapa, depende de la naturaleza, compactación y textura de los materiales de la pila. Los materiales fibrosos y finos retienen mayor humedad y aumentan la superficie específica de contacto (Pravia y Sztern, 1999).

*d. El pH.*

El rango de pH tolerado por las bacterias en general es relativamente amplio, existen grupos fisiológicos adaptados a valores extremos. No obstante pH cercano al neutro (pH 6.5 – 7.5), ligeramente ácido o ligeramente alcalino nos asegura el desarrollo favorable de la gran mayoría de los grupos fisiológicos. Valores de pH inferiores a 5.5 (ácidos) inhiben el crecimiento de la gran mayoría de los grupos fisiológicos.

Valores superiores a 8 (alcalinos) también son agentes inhibidores del crecimiento, haciendo precipitar nutrientes esenciales

del medio, de forma que no son asequibles para los microorganismos.

Durante el proceso de compostaje se produce una secesión de grupos fisiológicos. No es habitual que nos enfrentemos a desechos orgánicos agrícolas que presenten un pH muy desplazado del neutro ( $\text{pH} = 7$ ). Puede ser el caso de algunos residuos provenientes de actividades agroindustriales. Este tipo de residuos, se caracteriza por su estabilidad (resistencia a la biodegradación), y en general se trata de desechos con pH marcadamente ácido.

De presentarse una situación de este tipo, debemos proceder a determinar el valor del pH y posteriormente realizar una neutralización mediante la adición de Piedra Caliza, Calcáreo o Carbonato de Calcio de uso agronómico (Pravia y Sztern, 1999).

#### **2.2.5. Criterios de calidad para materiales biodegradables**

Según (Röben, 2002), Se necesita asegurar las condiciones siguientes para una biodegradación óptima de los desechos crudos:

- Contenido suficiente de materia orgánica
- Buena relación de elementos nutritivos ( $20 < \text{C/N} < 40$ )
- Humedad apropiada (25% - 70%)

El contenido de materia orgánica se mide con el experimento de ignición. La cantidad de materia perdida (en % de peso) es igual a la materia orgánica. Además, es importante la forma de las partículas de los desechos. Para asegurar una biodegradación bajo condiciones aeróbicas, las partículas no deben ser muy pequeñas ( $> 5 - 8 \text{ mm}$ ) y la estructura del

cuerpo de desechos debe permitir un aireación fácil (mecánica, manual o a través de lombrices).

Si se composta solamente una fracción (por ejemplo, solamente desechos de cocina o solamente papel), en general no se pueden asegurar todas condiciones necesarias. Se recomienda entonces el compostaje de varias fracciones mezcladas.

**Tabla 2.2:** Técnica para la formulación de mezclas de compostaje

Material	Composición aproximada			Peso	N	C	H <sub>2</sub> O
	% N	%C	%H <sub>2</sub> O				
Residuos verdes	Residuos mezclados de rastros	2.550	5.10	70			
	Lodos activados crudos	1.400	8.82	75			
	Estiércol de aves de corral	0.315	4.73	95			
	Lodos activados digeridos	0.470	7.38	75			
	Estiércol de vaca	0.170	3.06	90			
	Estiércol de cerdo	0.300	6.00	92			
	Pasto	0.645	12.96	70			
	Maleza acuática	0.078	1.64	96			
	Estiércol de oveja	0.938	20.63	75			
	Estiércol de caballo	0.230	5.75	90			
	Residuos de fruta	0.380	13.22	75			
	Paja de avena	0.735	35.28	30			
	Fracción orgánica de RSU	0.189	9.58	65			
	Hojas caídas recientemente	0.300	18.00	60			
	Paja de trigo	0.210	26.88	30			
Residuos café	Residuos de aserraderos	0.098	16.58	25			
	Papel mezclado	0.235	40.66	6			
	Aserrín	0.080	28.00	20			
	Revistas comerciales	0.067	31.26	5			
	Madera	0.056	40.49	20			
	Papel periódico	0.047	46.20	6			
	Papel estraza	0.010	42.66	5			
	Agua	0.000	0.00	100			

Fuente: Rodríguez, et al, 2006

Adaptado de: GTZ 1999 y Tchobanoglous, et al, 1993.

### 2.2.6. El proceso de compostaje

Según (RUIZ, et al., 2006), El proceso de composting o compostaje puede dividirse en cuatro períodos, atendiendo a la evolución de la temperatura.

- a. *Fase mesófila*: La masa vegetal está a temperatura ambiente y los microorganismos mesófilos se multiplican rápidamente. Como consecuencia de la actividad metabólica la temperatura se eleva y se producen ácidos orgánicos que hacen bajar el pH.
- b. *Fase termófila*: Cuando se alcanza una temperatura de 40 °C, los microorganismos termófilos actúan transformando el nitrógeno en amoníaco y el pH del medio se hace alcalino. A los 60 °C estos hongos termófilos desaparecen y aparecen las bacterias esporígenas y actinomicetos. Estos microorganismos son los encargados de descomponer las ceras, proteínas y hemicelulosas.
- c. *Fase de enfriamiento*: Cuando la temperatura es menor de 60 °C, reaparecen los hongos termófilos que reinvasen el mantillo y descomponen la celulosa. Al bajar de 40 °C los mesófilos también reinician su actividad y el pH del medio desciende ligeramente.
- d. *Fase de maduración*: Es un periodo que requiere meses a temperatura ambiente, durante los cuales se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización del humus.



Fuente: APROLAB, 2007.

**Figura 3.** Etapas de proceso de compostaje, atendiendo a la evolución de la temperatura.

### 2.2.6.1. Factores que condicionan el proceso de compostaje

Según (Ruiz, Et al. 2006), como se ha comentado, el proceso de compostaje se basa en la actividad de microorganismos que viven en el entorno, ya que son los responsables de la descomposición de la materia orgánica. Para que estos microorganismos puedan vivir y desarrollar la actividad descomponedora se necesitan unas condiciones óptimas de temperatura, humedad y oxigenación.

Son muchos y muy complejos los factores que intervienen en el proceso biológico del compostaje, estando a su vez influenciados por las condiciones ambientales, tipo de residuo a tratar y el tipo de técnica de compostaje empleada. Los factores más importantes son:

- a. *Temperatura:* Se consideran óptimas las temperaturas del intervalo 35-55 °C para conseguir la eliminación de patógenos, parásitos y semillas de malas hierbas. A temperaturas muy altas, muchos microorganismos interesantes para el proceso mueren y otros no actúan al estar esporados.
- b. *Humedad:* En el proceso de compostaje es importante que la humedad alcance unos niveles óptimos del 40-60 %. Si el contenido en humedad es mayor, el agua ocupará todos los poros y por lo tanto el proceso se volvería anaeróbico, es decir se produciría una putrefacción de la materia orgánica. Si la humedad es excesivamente baja se disminuye la actividad de los microorganismos y el proceso es más lento. El contenido de humedad dependerá de las materias primas empleadas. Para materiales fibrosos o residuos forestales gruesos la

humedad máxima permisible es del 75-85 % mientras que para material vegetal fresco, ésta oscila entre 50 – 60 %.

- c. *pH*: Influye en el proceso debido a su acción sobre microorganismos. En general los hongos toleran un margen de pH entre 5-8, mientras que las bacterias tienen menor capacidad de tolerancia (pH = 6-7,5).
- d. *Oxígeno*: El compostaje es un proceso aeróbico, por lo que la presencia de oxígeno es esencial. La concentración de oxígeno dependerá del tipo de material, textura, humedad, frecuencia de volteo y de la presencia o ausencia de aireación forzada.
- e. *Relación C/N equilibrada*: El carbono y el nitrógeno son los dos constituyentes básicos de la materia orgánica. Por ello para obtener un compost de buena calidad es importante que exista una relación equilibrada entre ambos elementos. Teóricamente una relación C/N de 25 – 35 es la adecuada, pero esta variará en función de las materias primas que conforman el compost. Si la relación C/N es muy elevada, disminuye la actividad biológica.

Una relación C/N muy baja no afecta al proceso de compostaje, perdiendo el exceso de nitrógeno en forma de amoníaco. Es importante realizar una mezcla adecuada de los distintos residuos con diferentes relaciones C/N para obtener un compost equilibrado. Los materiales orgánicos ricos en carbono y pobres en nitrógeno son la paja, el heno seco, las hojas, las ramas, la turba y el serrín. Los pobres en carbono y ricos en nitrógeno son los vegetales jóvenes, las deyecciones animales y los residuos de matadero.

f. *Población microbiana*: El compostaje es un proceso aeróbico de descomposición de la materia orgánica, llevado a cabo por una amplia gama de poblaciones de bacterias, hongos y actinomicetos. Las bacterias se encuentran distribuidas por toda la pila, mientras que los hongos y los actinomicetos están situados a 5 – 15 cm, de la superficie dándole un aspecto grisáceo característico.

### **2.2.7. Métodos para determinar la madurez de un compost**

Según (*Fuentes, 2005*), La evaluación del grado de madurez del compost es considerado uno de los grandes problemas, en relación con la aplicación de este producto, fundamentalmente en su aplicación agronómica.

Cuando un compost va a ser utilizado deben tenerse unas mínimas garantías de que su uso no es peligroso para el suelo y las plantas. De ese modo debe de estar libre de poblaciones patógenas y ser estable, es decir biológicamente inactivo.

La aplicación de un compost inmaduro puede provocar un bloque biológico del nitrógeno asimilable. También la descomposición posterior a su aplicación del suelo, así como un aumento de temperatura del mismo y el desarrollo de sustancias fitotóxicas. Además pueden ocasionar un aumento de la solubilidad de los metales pesados.

Existe gran cantidad de test para la determinación del grado de madurez del compost que presentan distintos grados de dificultad y de fiabilidad. Los más usuales los podemos clasificar en distintos grupos:

métodos físicos, métodos químicos, métodos biológicos y métodos microbiológicos.

a. *Métodos físicos.*

Son los más utilizados habitualmente y dan una idea aproximada de la madurez del compost.

- *Olor:* Los materiales frescos desprenden compuestos como amoníaco y ácidos orgánicos que producen malos olores y que en un compost suficientemente maduro no deben existir y por el contrario desprender un olor similar a la tierra húmeda.
- *Temperatura:* Debe ser estable una vez culminado el proceso y equipararse a la temperatura ambiente.
- *Color:* La descomposición de los materiales frescos implica un oscurecimiento llegando a tener un color marrón casi negro.

b. *Métodos químicos.*

*Relación C/N:* Disminuye durante la fermentación hasta estabilizarse, alcanzando valores que dependen de los productos de partida. Generalmente se considera maduro con una relación C/N inferior a 20.

- *Determinación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO):* Disminuye durante el proceso de fermentación hasta alcanzar un valor constante.
- *Variación del pH:* El pH finalizado el proceso se estabiliza tomando valores en función del producto de partida entre 7 y 8.

- *Capacidad de intercambio catiónico (CIC)*: Nos da idea de la capacidad potencial de retención de nutrientes y capacidad de inmovilización de sustancias fitotóxicas. El CIC aumenta a medida que aumenta el grado de estabilidad de la materia orgánica.
- *Determinación del  $NH_4^+$  y del  $SH_2$* . Si el proceso de compostaje se ha realizado correctamente, al final del mismo no deben detectarse cantidades apreciables de  $NH_4^+$  NI de  $SH_2$  cuya presencia pondría en evidencia la existencia de condiciones reductoras.

c. *Métodos biológicos*

Esos ensayos ponen de manifiesto la presencia de compuestos fitotóxicos que producen efectos negativos sobre la germinación y el crecimiento de las plantas.

- *Test de germinación*: Relacionando un porcentaje de germinación y la longitud de la raíces se calcula un índice de germinación. En general se considera maduro cuando este índice es superior al 50%.
- *Test de crecimiento*: Evalúa el efecto sobre el crecimiento en distintas especies vegetales.

d. *Métodos microbiológicos*.

Basados en la relación que existe entre la madurez del compost y la actividad biológica de los materiales, partiendo de la hipótesis de que la madurez de un compost, se alcanza por estabilidad biológica del mismo. El grado de actividad se puede medir directamente a partir del conteo de la biomasa microbiana o de medidas de la actividad metabólica.

- *Métodos respirométricos:* Estudian la demanda de oxígeno en el compost, que disminuye al decrecer la actividad microbiana. Se basan en medidas directas de absorción de oxígeno o en la de desprendimiento de anhídrido carbónico.
- *Métodos de análisis bioquímico.* Se basan en la medida de la evolución de la actividad enzimática, que es función de la actividad celular.

### 2.2.8. Los nutrientes en el compost

Según (Cid, 2005), la función básica de un abono es fertilizar la tierra sobre la cual se aplica. Por lo tanto, tiene que contener los nutrientes que las plantas necesitan para su crecimiento y también para producir las partes vegetales que justifican su cultivo: flores, frutos, hojas, etc.

A parte de mejorar los suelos la finalidad del compost es fertilizar el suelo de los jardines o huertos en los cuales se aplica. Pero, ¿es el compost un abono de composición similar a un fertilizante químico o de síntesis? La respuesta es que el compost es mucho más que un simple concentrado artificial de sustancias químicas de las que se alimentan las plantas.

Los abonos químicos consisten en agregados granulados o líquidos de sustancias químicas formados por los elementos en los cuales se basa la nutrición de los vegetales. En cambio, el compost tiene una estructura mucho más compleja, donde los nutrientes forman parte de un entramado en el cual están unidos a otras moléculas, básicamente orgánicas, que modulan y facilitan la liberación y posterior absorción de los nutrientes por

parte de las plantas. Los elementos químicos que sirven de alimento a los vegetales se clasifican en dos grupos: macronutrientes y micronutrientes.

Los macronutrientes (N, P, K): son los que las plantas necesitan en mayor proporción, ya que constituyen elementos químicos más abundantes de su composición orgánica.

Los micronutrientes u oligoelementos (Ma Mg S, Fe, Zn, Cu, Mn, Mo, B, Cl): en cambio, son necesarios en muy pequeñas cantidades y, por ello, su presencia en las plantas es más reducida que en el caso de los macronutrientes. Sin embargo, tanto unos como otros son esenciales para el buen desarrollo de los vegetales.

Cuando un suelo esta desequilibrado en nutrientes, los vegetales que crecen en él lo acusan manifestando unos síntomas que alertan de la falta de elementos químicos en las plantas y, por lo tanto, también en el suelo. En estos casos, para corregir el desequilibrio es preciso añadir los nutrientes deficitarios.

Un compost bien maduro, que ha sufrido un proceso de formación correcto y se ha obtenido a partir de restos variados, tiene la ventaja de incorporar todos los elementos esenciales para las plantas y aportar riqueza y equilibrio de nutrientes al suelo donde se aplica. Los vegetales nutridos con este compost gozaran de una salud que no le pueden garantizar los fertilizantes de síntesis. A continuación comentaremos las funciones de cada nutriente en la planta y su proporción en el compost.

- *Nitrógeno (N)*: Fomenta el crecimiento de la parte aérea de los vegetales (hojas, tallos). Es, en parte, responsable del color verde de

las plantas y confiere resistencia a las plagas. Su proporción en el compost varía en función del grado de madurez, de manera que el compost fresco es pobre en nitrógeno, mientras que la concentración crece a medida que el compost madura.

La proporción de contenido de nitrógeno oscila entre el 1 y el 2% en el compost de 5 o 6 meses de maduración. La forma química mayoritaria de absorción de nitrógeno por parte de las plantas son los nitratos, que abundan en el compost maduro. En el fresco, el nitrógeno predominante es en forma de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), menos tolerable o absorbible por la mayoría de vegetales, en caso de las leguminosas, silvestres o de cultivo, hay que considerar que pueden asimilar el nitrógeno molecular ( $\text{N}_2$ ), ya que son capaces de captarlo directamente de la atmosfera. Obviamente, la mayoría de fertilizantes de síntesis contienen altas proporciones de nitrógeno en forma de nitratos.

- *Fosforo (P)*: Es muy importante en la maduración de flores, semillas y frutos, intervienen en la formación y desarrollo de las raíces y tiene un papel importante en la resistencia a la sequía. Su proporción en el compost es entre el 0.8 y el 2.5 %, mayoritariamente en forma de óxido de fosforo ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ), y varía en función del tipo de restos de las cuales proviene el compost.

Las plantas lo absorben en forma de fosfatos. Se puede enriquecer el suelo o el compost. Las plantas lo absorben en forma de fosfatos. Se puede enriquecer el suelo o el compost con fosforo si se añade gallinaza, cenizas, huesos molidos o roca fosfatada.

Cabe aclarar, sin embargo, que el vermicopost, sin necesidad de enriquecerlo con fosforo, aporta las cantidades suficientes de este elemento para equilibrar los suelos que son deficitarios. Los abonos sintéticos también aportan fosforo al terreno en forma de fosfatos.

- *Potasio (K)*: Es decisivo en el desarrollo de toda la planta, posibilita que las raíces y los tallos sean fuertes y las semillas, los frutos y las hojas, grandes. Proporciona resistencia a las plagas y enfermedades, colabora en la circulación de los otros nutrientes alrededor de la planta y regula las funciones vegetales.

En el compost se encuentra en una proporción de entre el 1 y el 1.5 %, en forma mayoritaria de óxido de potasio ( $K_2O$ ). Se absorbe en forma elemental o combinada (cloruro, fosfato, nitrato, etc.). El compost se puede enriquecer en potasio con cenizas, estiércol u hojas de banana. Como en el caso del fosforo, el vermicompost obtenido con restos de cocina aporta el potasio suficiente para corregir los suelos deficitarios en este nutriente. Los fertilizantes químicos suelen contener potasio en forma de sales (nitratos, cloruros, fosfatos, etc.).

### 2.2.9. Propiedades del compost

Según (Ruiz, *et al.*, 2006), indica las siguientes propiedades:

- Mejora las propiedades físicas del suelo. La materia orgánica favorece la estabilidad de la estructura de los agregados del suelo agrícola, reduce la densidad aparente, aumenta la porosidad y permeabilidad, y aumento su capacidad de retención de agua en el suelo. Se obtienen suelos más esponjosos y con mayor retención de agua.

- Mejora las propiedades químicas. Aumenta el contenido en macronutrientes N, P, K, y micronutrientes, la capacidad de intercambio catiónico y es fuente y almacén de nutrientes para los cultivos.
- Mejora la actividad biológica del suelo. Actúa como soporte y alimento de los microorganismos ya que viven a expensas del humus y contribuyen a su mineralización.
- La población microbiana es un indicador de la fertilidad del suelo.

#### 2.2.10. Usos de la composta doméstica

Los usos de la composta son múltiples; se puede añadir directamente como abono en el jardín, maceteros, huertos o, simplemente, usarse para mejorar la estructura del suelo. Sin embargo, como la composta es muy rica en nutrientes es importante seguir algunas indicaciones para su aplicación con el fin de satisfacer las necesidades nutricionales de las plantas y hortalizas (Rodríguez, et al.,2006).

### 2.3. Diseño

Según (*Mischke., 1971*), diseño es una ordinaria y no todos sus posibles significados son oportunos en ingeniería y hablar de diseño de ingeniería. Ya que el propósito principal del ingeniero es diseñar, es también pertinente una definición de ingeniero. Un ingeniero plantea o controla (esto es, diseño) la acción recíproca entre energía, materia, hombres y dinero para cumplir en forma óptima un propósito especificado.

Según (*Mischke., 1971*), manifiesta que no hay una filosofía de diseño de ingeniería, como tampoco existe una filosofía de la ciencia, una filosofía de

arquitectura, o una filosofía del arte. Los diseñadores de éxito adaptan sus capacidades, pericias y aptitudes al problema que tienen a la mano, y durante un largo periodo de tiempo, supera a sus competidores en la lucha por satisfacer la prueba del mercado.

Diseñar es especificar con precisión la forma en que ha de ejecutarse una determinada tarea. Para especificar se requiere poder creador y comprensión, la comprensión se basa en la experiencia y se codifica en el análisis, mediante el uso de técnicas matemáticas deductivas y empíricas. Si un diseñador procede como sigue, es decir:

- Define su problema en términos cuantitativos.
- Decide como reconocerá el mérito de la solución, y ordena sus soluciones en consecuencia.
- Genera alternativas (posibles soluciones).
- Por medio de análisis, descarta las alternativas insatisfactorias y conserva las satisfactorias.
- Elige la solución de más alto mérito, entre la alternativa factible.
- Toma en decisión y pone en ejecución.

El ingeniero estará entonces procediendo de una manera completamente compatible

Según (*Martinez, 1991*), define al diseño como el acto creativo que implica un proceso de interacción dialéctica entre la capacidad crítica del diseñador y su dominio creativo; Asimismo, conjuga las capacidades racionales y empíricas de la estructuración formal del diseño. Esto se logra mediante la adecuada sistematización del proceso, en búsqueda de claridad, precisión y orden, de

manera que trascienda la acumulación de experiencias, vivencias y soluciones ambiguas y subjetivas, con una finalidad que supere las condicionantes conductuales de hábito.

Según (*Manrique, 2006*), el funcionamiento del diseño será simple de entender, sin importar la experiencia, el conocimiento, el lenguaje, ni el nivel de concentración del usuario, ya que se utilizara el recorrido a través de los puntos centrales que concentrarán y dispersarán los flujos de usuarios.

Para dar soluciones mínimas en el diseño es necesario analizar lo siguiente:

- Definición de ambientes para cada actividad específica.
- Determinación de áreas mínimas para cada actividad específica.
- Análisis de proximidad y relación de funciones, zonificación y flujo grama
- Cálculos de Ventilación.
- Análisis de comportamiento térmico de los materiales a utilizar.
- Iluminación, radiación solar.

La información mínima como datos de campo y gabinete que se debe utilizar para dar solución son:

- Información meteorológica:  $T^{\circ}$ ,  $H^{\circ}R^{\circ}$ , radiación solar, horas de sol, velocidad y dirección de viento.
- Plano de ubicación y topográfico.
- Materiales existentes en la zona.
- Información social, situación económica, instituciones, actividades, otros.

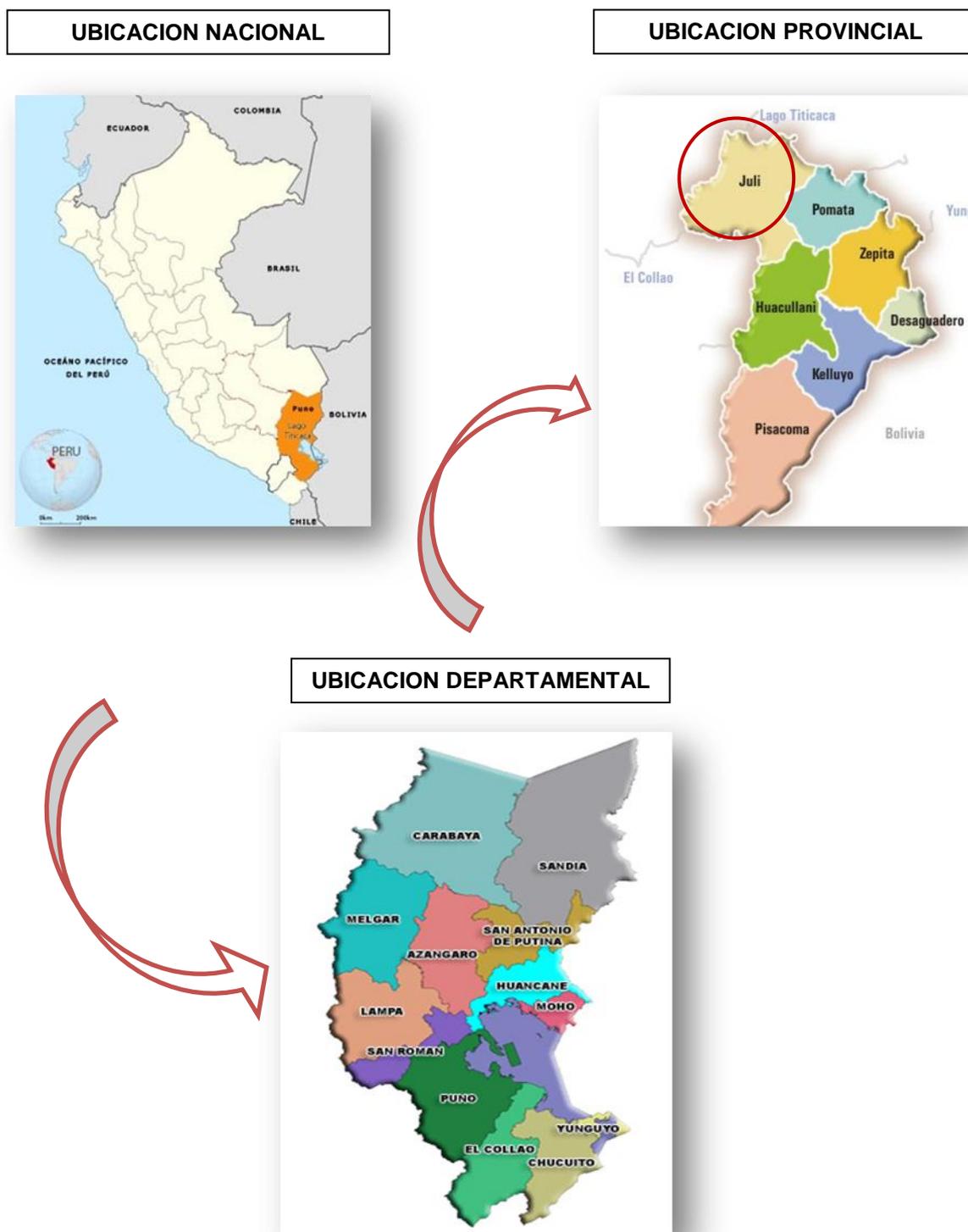
## CAPITULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

#### 3.1. Medio experimental

##### 3.1.1. Ubicación del trabajo de investigación

La presente investigación se ejecutó en la ciudad de Juli, específicamente en el estadio de la municipal durante los meses de febrero, marzo, abril y mayo cuya ubicación política es en la Región de Puno, Provincia de Chucuito, Distrito Juli, y ubicación geográfica en coordenadas UTM 450984 este 19L, 8207397 19L norte a una altitud de 3869 msnm.



**Figura 4.** Ubicación del lugar de investigación.

### **3.1.2. Límites de la Provincia de Chucuito Juli**

La Provincia de Chucuito limita por el norte con el lago Titicaca, por el noroeste con el distrito de Pilcuyo, por el sur con el distrito de Huacullani, por el suroeste con el distrito de Pomata, lago Titicaca y oeste con la provincia del Collao – Ilave.

## **3.2. Material experimental**

### **3.2.1. Materia prima**

La materia prima empleada para el presente trabajo experimental está formado básicamente por los residuos sólidos orgánicos de la ciudad de Juli, materiales vegetales producidos por las viviendas, mercados, restaurantes entre otros, además de estiércol de gallina, vacuno y ovino.

### **3.2.2. Agua**

El agua empleada fue para riego utilizada de un almacenamiento cercano a lugar de investigación, dicha elemento es utilizado para el riego del grass natural que presenta el estadio de la municipalidad, no causando algún tipo de efecto secundario a este cultivo por lo que se optó a utilizarlo.

### **3.2.3. Estiércol**

Se utilizó estiércol de gallina, vacuno y ovino en diferentes cantidades, este material se recolecto de granjas cercanas a la ciudad de Juli lugar denominado Huertaparqui del distrito de Juli, trasladadas con movilidad moto carga y en costalillos de 50 kg.

### **3.2.4. Insumos**

Los insumos que se utilizó en el experimento fueron:

- Residuos orgánicos producidos por la ciudad de Juli,

- Estiércol de gallina.
- Estiércol de vacuno.
- Estiércol de ovino.
- Plástico (cobertura de planta piloto).
- Acero corrugado (soporte del techo de la planta).
- Tubo PVC

### **3.2.5. Equipos e instrumentos**

Se utilizó lo siguiente:

- Termómetro
- Balanza
- Cámara fotográfica
- Picos, palas
- Carretilla
- Baldes

### **3.2.6. Instituciones y software utilizados**

- Instituciones.
- Municipalidad Provincial de Juli.
- INEI, Censos de vivienda y población del lugar de estudio.
- Universidad Nacional del Altiplano.

Software:

- Microsoft Office Word 2015, Excel 2015.
- AutoCAD 2015.
- Equipo de cómputo.
- Equipos topográficos GPS.

- Carta nacional.
- Plano Catastral de la ciudad de Juli.
- Internet.
- Útiles de escritorio.
- Unidad de Transporte.

### 3.3. Metodología de medición y evaluación por objetivos

#### 3.3.1. Caracterización de residuos sólidos urbanos en la ciudad de Juli

##### 3.3.1.1. Población de Juli

Para la investigación, la ciudad de Juli se dividió en tres zonas de trabajo, donde se realizaran las muestras y podremos definir cuál de estas zonas es la que genera mayores cantidades de residuos sólidos orgánico e inorgánicos. La ciudad de Juli presenta una cierta cantidad de habitantes los cuales serán obtenidos a partir de los datos que proporcionan el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) tanto en el año 1993 y 2007.

##### 3.3.1.2. Determinación del número de muestras

- *Tamaño muestral:* Se obtuvo con la fórmula 2, con la finalidad de hallar el número de muestras que serán tomados en forma al azar en las zonas de trabajo de la ciudad de Juli (zona alta, zona media y zona baja).
- *Fórmula para hallar n*

$$n = \frac{Z^2 - N\sigma^2}{(N-1)E^2 + Z^2\sigma^2} \dots \dots \dots \text{Fórmula 3}$$

***DONDE:***

$n$  = muestras de vivienda

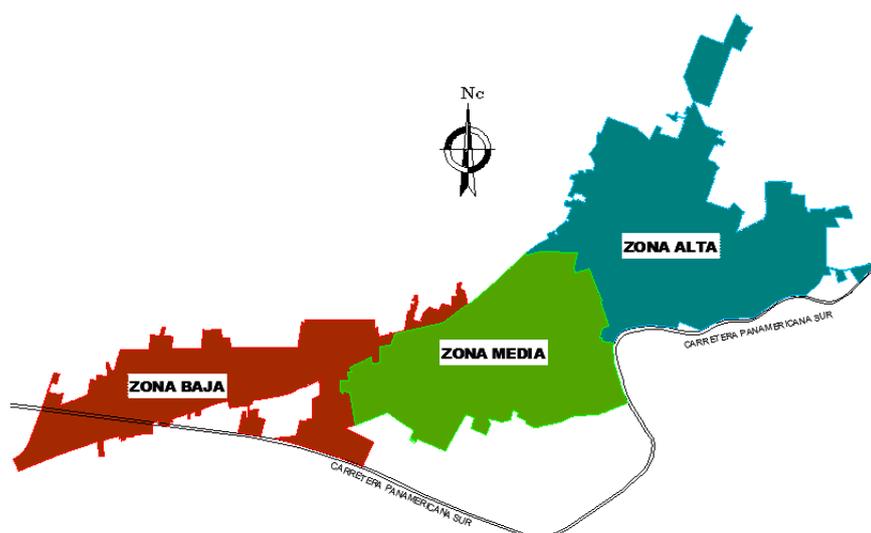
$N$  = total de viviendas

$Z$  = nivel de confianza

$\sigma$  = desviación estándar

$E$  = error permisible

- *Unidad de muestreo y análisis:* Para la recolección de muestras, se presenta la distribución de zonas de trabajo, en donde se realizó la entrega de material plástico de color verde y amarillo con etiquetas describiendo el material orgánico e inorgánico al que correspondería.



**Figura 5.** Visualización de la ciudad de Juli en tres zonas de trabajo.

- *Tipo o técnica de muestreo:* La técnica de muestreo que se utilizó es el muestreo aleatorio: puesto que los residuos sólidos orgánicos urbanos en su mayoría son de distinta composición, porque no todos los hogares consumen los mismo.

### 3.3.1.3. Proyección per cápita de generación total de residuos sólidos domiciliarios en la ciudad de Juli

Esta variable depende básicamente del tamaño de la población y de sus características socioeconómicas, fue muy necesario para dimensionar el sitio de disposición final de los residuos sólidos orgánico urbanos producidos en la ciudad de Juli, siendo la unidad de expresión el kilogramo por habitante por día (kg/hab/día).

*Fórmula para hallar PPC*

$$PPC = \frac{Pw}{Np*dias} \dots\dots\dots \text{Fórmula 1}$$

**DONDE:**

*PPC = Producción per cápita*

*Pw = Peso generado de residuos sólidos en un día en kg*

*Np = Número de personas que habitan una vivienda*

*Días= Número de días de muestreo*

### 3.3.1.4. Composición física de residuos sólidos urbanos.

Se realizara el pesado de los residuos sólidos urbanos generados por la ciudad de Juli dividido en tres zonas de trabajo (alta, media y baja); posterior a ello se identificara la cantidad de residuos sólidos orgánicos e inorgánicos expresados en kg de cada una de las zonas.

### 3.3.1.5. Composición física de los residuos sólidos orgánicos urbanos

Posterior al trabajo de realizar la composición física de residuos sólidos urbanos, se realizara la composición física de los residuos sólidos orgánicos urbanos de la ciudad de Juli en las tres zonas de

trabajo, con la finalidad de identificar cuáles son los residuos que más se generan y con ello plantear equipos necesarios para producir un compost de buena calidad.

### 3.3.2. Procedimiento para la obtención del compost con influencia de la adición de estiércol en un sistema abierto (pilas con volteo) a partir de residuos sólidos orgánicos urbanos en la ciudad de Juli.

El compostaje en un sistema abierto (pilas con volteo), consiste en el apilamiento de residuos sólidos orgánicos urbanos, con aireación mediante volteo de la pila y corregimiento de humedad, se aplica este método por la facilidad del armado de la pila y aireación necesaria.

Para la investigación de obtención de compost con influencia de la adición de estiércol en un sistema abierto (pilas con volteo) se realizó con la metodología según (Sztern y Prava, 1999).

**Tabla 3.1:** Cálculo inicial C/N para las tres pilas

<b>M1 (RSOU - EG)</b>	<b>PESO</b>	<b>%C</b>	<b>%N</b>	<b>C</b>	<b>N</b>	<b>C/N</b>
Residuo Sólido Orgánico Urbano	80.00	9.58	0.189	7.6640	0.1512	50.69
Estiércol de Gallina	15.00	15.00	1.50	2.2500	0.2250	10.00
<b>TOTAL</b>	<b>95.00</b>			<b>9.9140</b>	<b>0.3762</b>	<b>23.35</b>
<b>M2 (RSOU - EV)</b>						
Residuo Sólido Orgánico Urbano	135.50	9.58	0.189	12.9809	0.2561	50.69
Estiércol de vacuno	53.50	7.00	0.50	3.7450	0.2675	14.00
<b>TOTAL</b>	<b>189.00</b>			<b>16.7259</b>	<b>0.5236</b>	<b>31.94</b>
<b>M3 (RSOU - EO)</b>						
Residuo Sólido Orgánico Urbano	112.00	9.58	0.189	10.7296	0.21168	50.69
Estiércol de ovino	54.00	16.00	0.80	8.6400	0.4320	20.00
<b>TOTAL</b>	<b>166.00</b>			<b>19.3696</b>	<b>0.6437</b>	<b>30.09</b>

Fuente: Sztern y Prava, 1999

Para esta etapa del trabajo experimental fue necesario la recolección de mayores cantidades de material orgánico obtenidos de los puntos de

mayor generación de residuos sólidos orgánico urbanos de la ciudad de Juli, trasladados en costalillos con apoyo de vehículos motorizados al lugar de trabajo (estadio municipal). Se prosiguió a la conformación de pilas para su compostaje, cada pila a compostar tuvieron diferentes cantidades de residuo sólido orgánico urbano y estiércol de animales (gallina, vacuno y ovino), en cantidades según la metodología (Sztern y Prava, 1999).

M1: 80.00 kg de residuo sólido orgánico urbano + 15.0 kg estiércol de gallina = 95.0 kg de material a compostar.

M2: 135.5 kg de residuo sólido orgánico urbano + 53.5 kg estiércol de vacuno = 189 kg de material a compostar.

M3: 112.0 kg de residuo sólido orgánico urbano + 54.0 kg estiércol de ovino = 166.0 kg de material a compostar.

Se usó la metodología descrita que es la más práctica y accesible para llevar a cabo el trabajo de investigación y determinar cuál de las muestras es la más óptima y que cumple con los valores que lo hace al compost el más adecuado en el uso de la agricultura.

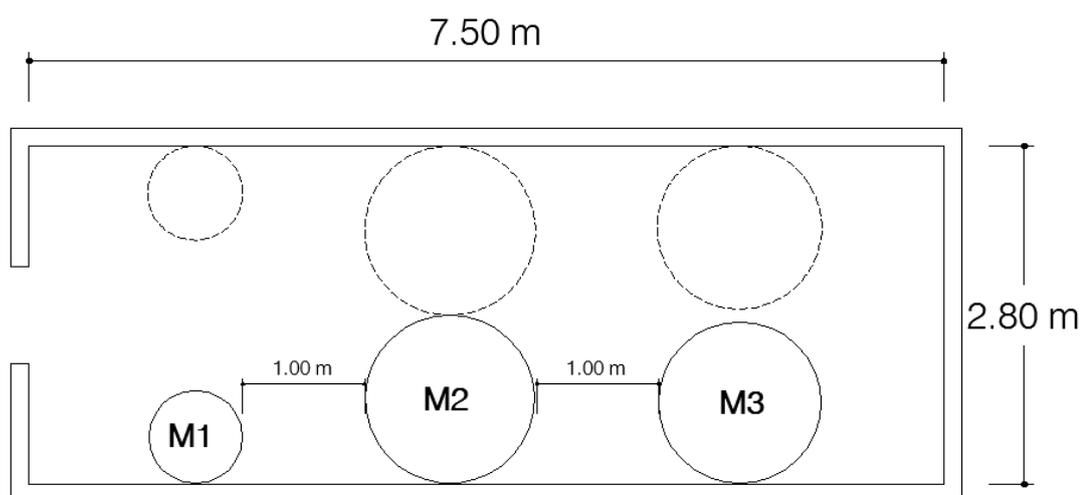
### ***3.3.2.1. Ubicación de las pilas de compostaje***

El lugar de compostaje donde se realizó el trabajo de investigación experimental se encuentra ubicado en la ciudad de Juli, específicamente en el estadio de la municipalidad Provincial de Chucuito – Juli, como se muestra en la figura 6, contando con un área total de 21 m<sup>2</sup> (7.5 m de largo y 2.8 m de ancho), el área está en

relación a la cantidad de pilas a compostar además de su trabajabilidad en el proceso de compostaje.



**Figura 6.** Ubicación de la elaboración de las pilas de compostaje



**Figura 7.** Distribución de las pilas de compostaje

**3.3.2.2. Recolección de los materiales para el compostaje**

Los materiales utilizados en el compostaje fueron recogidos conjuntamente con el personal encargado de jardines de la municipalidad provincia de Chucuito Juli en coordinación con el área encargada. Se determinó la cantidad requerida de cada material, la que

fue acopiada y trasladada al área de compostaje para su posterior mezcla en las pilas.



**Figura 8.** Acopio de restos de comidas



**Figura 9.** Acopio de estiércol de gallina, vacuno y ovino

### 3.3.2.3. *Preparación del terreno*

El lugar para compostaje se acondicionó, limpiando malezas, piedras, ramillas, entre otros, con la finalidad de no afectar negativamente o dificulten el proceso de compostaje, además de realizar una nivelación de suelo para que las 3 muestras estén en condiciones físicas iguales. Posteriormente se realizó el techado con

material plástico y refuerzo de acero con fines de controlar la humedad ya que el trabajo se realizó durante los meses con mayores precipitaciones pluviales.



**Figura 10.** Preparación de terreno, limpieza y nivelación



**Figura 11.** Techado de área de compostaje con material plástico.

#### **3.3.2.4. Dimensiones de la pila de compostaje**

Las dimensiones de la pila de compostaje influyen significativamente en el proceso de compostaje respecto a la aireación,

temperatura y humedad, por lo tanto en la transformación adecuada de la materia orgánica.

Para el proceso de compostaje no existen dimensiones estandarizadas, sin embargo se recomienda alturas menores a 1.50 m, estas dimensiones pueden variar según la disponibilidad del terreno.

Para la investigación las dimensiones de las pilas de compostaje se muestran a continuación:

#### **M1 (RSOU-EG)**

- Diámetro de pila : 78 cm
- Alto : 35 cm

#### **M2 (RSOU-EV)**

- Diámetro de pila : 140 cm
- Alto : 51 cm

#### **M3 (RSOU-EO)**

- Diámetro de pila : 135 cm
- Alto : 48 cm

### ***3.3.2.5. Composición de las pilas de compostaje.***

#### ***3.3.2.5.1. Proporción de los materiales en las pilas de compostaje.***

Para la investigación se tomó como referencia el cálculo C/N a partir de investigaciones realizadas por (Szttern y Prava, 1999).

Se determinó que cada pila de compostaje estará conformada por:

- M1 = 95 kg (80 kg de R.S.O.U. y 15 kg de estiércol de gallina).
- M2 = 189 kg (135.5 kg de R.S.O.U. y 53.50 kg de estiércol de vacuno).
- M3 = 166 kg (112 kg de R.S.O.U. y 54 kg de estiércol de ovino).

### 3.3.2.6. *Formación de las pilas de compostaje*

Una vez establecida la cantidad de materia orgánica y estiércol de gallina, vacuno y ovino se procedió a la formación de pilas de compostaje para su posterior evaluación.

A continuación se describen el procedimiento de formación de las pilas de compostaje:

- Se excavo 10 cm de profundidad en el suelo para un mejor acondicionamiento de las pilas de compostaje.
- Se procedió a pesar las cantidades de materia orgánica y estiércol para cada una de las muestras.
- Conjuntamente se desarrollaba la formación de las pilas, se fue agregando agua y humedecer las pilas de compost.
- Finalmente se procedió a humedecer la pila conformada evitando en lo posible formar lixiviados o humedecerlo excesivamente, verificando con la prueba del tacto.
- Para acelerar y mejorar las condiciones de tratamiento de los residuos orgánicos, se verificó que no haya residuos de gran tamaño y los que hubo se cortó en más pequeños aproximadamente

a 5 cm., además se hizo mezclas con estiércol de gallina, estiércol de vacuno y estiércol de ovino respectivamente.

**Tabla 3.2:** *Formación de las pilas*

<b>M1 (RSOU-EG)</b>	<b>M2 (RSOU-EV)</b>	<b>M3 (RSOU-EO)</b>
<b>Fecha de armado de pila:</b>	<b>Fecha de armado de pila:</b>	<b>Fecha de armado de pila:</b>
01 de febrero 2014	01 de febrero 2014	01 de febrero 2014
<b>Pila formada por:</b>	<b>Pila formada por:</b>	<b>Pila formada por:</b>
-Residuo orgánico: 80 kg.	-Residuo orgánico: 135.5 kg.	-Residuo orgánico: 112 kg.
-Estiércol de gallina:15 kg	-Estiércol de vacuno: 53.50 kg	-Estiércol de ovino: 54 kg
-Total: 95kg	Total: 189kg.	Total: 166kg
<b>Forma de pila cónica</b>	<b>Forma de pila cónica</b>	<b>Forma de pila cónica</b>
Diámetro de la pila: 78 cm	Diámetro de la pila: 140 cm	Diámetro de la pila: 135 cm
Altura de la pila: 35 cm	Altura de la pila: 51 cm	Altura de la pila: 48 cm

**Identificación de las pilas:** Como es necesario llevar un control de las pilas del compostaje para su respectivo monitoreo y control, las pilas se registraron como:

- **M1 (RSOU-EG):** Pila de compostaje a partir de residuos sólidos orgánicos urbanos con adición de estiércol de gallina.
- **M2 (RSOU-EV):** Pila de compostaje a partir de residuos sólidos orgánicos urbanos con adición de estiércol de vacuno.
- **M3 (RSOU-EO):** Pila de compostaje a partir de residuos sólidos orgánicos urbanos con adición de estiércol de ovino, las operaciones de volteo y tamizado se realizó de acuerdo al plan operativo.

### **3.3.2.7. *Monitoreo y control del proceso de compostaje***

La calidad del compost dependerá del control que se realice en el proceso de compostaje, para ello es necesario un monitoreo periódico de la frecuencia de volteos, la regulación de humedad y la medición de temperatura son factores muy importantes para un buen compost.

### **3.3.2.8. *Frecuencia de volteos de la pila a compostar***

Los volteos realizados a las pilas de compostaje son de vital importancia para la oxigenación, esto ayuda a que acelere el proceso de degradación por parte de los microorganismos existentes.

Los volteos se realizaron cada dos veces por semana, las dos primeras semanas, posterior a ello una vez por semana hasta finalizar el proceso de compostaje.

Las pilas se voltearon de acuerdo al aumento de temperatura y la falta de agua. El volteo se hace para que ingrese aire y se uniformice la masa, haciendo que la parte del centro de la pila este en la parte de afuera de la nueva pila. Durante el volteo se rectificó la humedad regando con agua, usando una botella descartable.

### **3.3.2.9. *Regulación de la humedad***

El riego aplicado a las pilas de compostaje fue por horas de la mañana y a diario manteniendo una humedad permanente y aplicando el método del puño para poder regar lo necesario a cada pila y siguiendo los siguientes pasos:

- Poner una muestra en la mano extendida.
- Serrar la mano y apretar fuertemente.
- Si con esta operación verifica que sale un hilo de agua continuo, podemos deducir que el material contiene un 40% de humedad.
- Si del material a compostar no gotea y al momento de abrir la mano el material permanece moldeado, estimamos que presenta una humedad de 20% a 30%.
- Finalmente si abrimos la mano y el materia se esparce asumimos que el material tiene una humedad menor a 20%.

#### **3.3.2.10. Medición de la temperatura**

El control de temperatura es un factor importante en el proceso de compostaje, ya que va en aumento debido a los microorganismos que actúan en ella.

En el trabajo de investigación se realizó la medición de este factor en forma diaria, tomadas por horas de la mañana, mediodía y tarde, utilizando para ello termómetro.

Los puntos de toma de temperatura fueron en el mismo lugar en las tres muestras diarias.

#### **3.3.2.11. Obtención de muestras para el laboratorio**

La forma de toma de muestra para el análisis en el laboratorio se realizó en forma al azar, es decir de cualquier punto de la muestra, para ello se obtuvo tres muestras en total, M1, M2 y M3. Estas muestras se llevaron al laboratorio de aguas y suelos de la facultad de Ingeniería

Agronómica de la Universidad Nacional del Altiplano debidamente embolsado y no sufra algún cambio en sus propiedades.

#### **3.3.2.12. Tamizado y pesaje del compost en la etapa final del proceso**

Posterior al proceso de compostaje, se dejó de regar agua por siete días si embargo seguimos realizando los volteos para un mejora tamizado del material.

El tamizado se llevó a cabo con dos tipos de tamices, la primera de 25 mm y la segunda de 12 mm, posterior a ello se realizó la colocación de compost en sacos para su almacenamiento.

#### **3.3.2.13. Medición de los parámetros físico-químicos del compost**

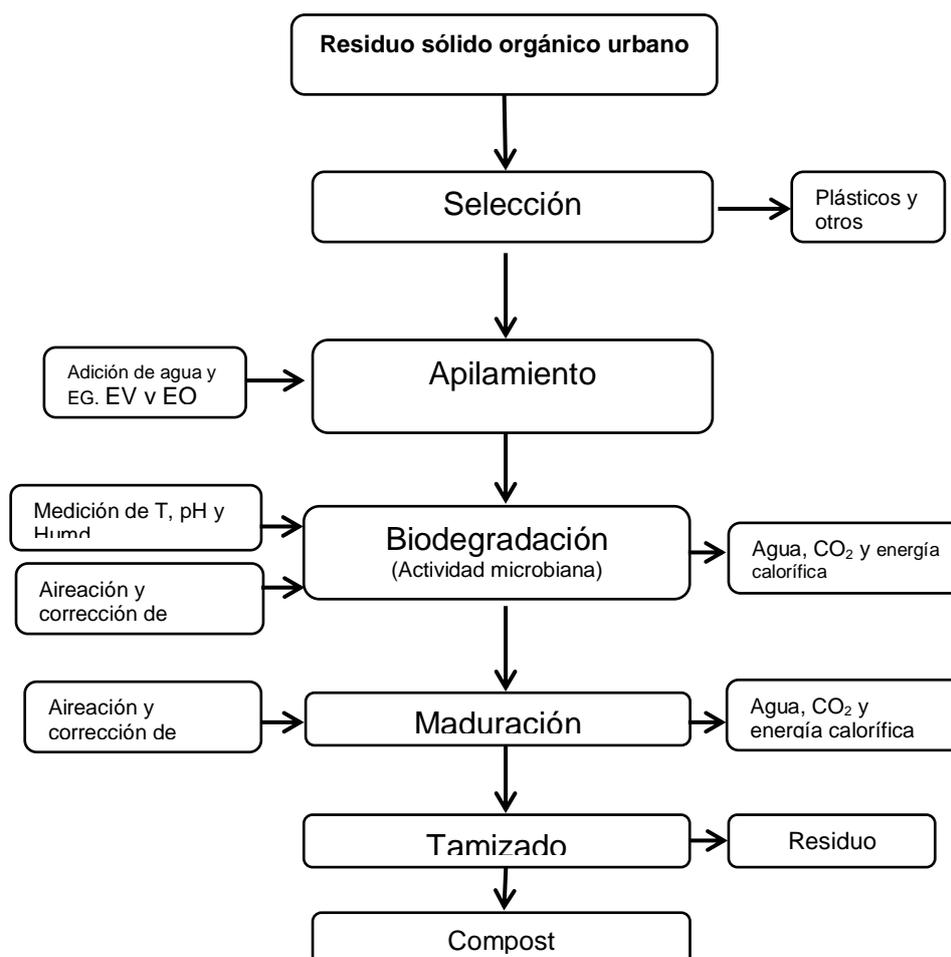
Los parámetros físico-químicos obtenidos en el laboratorio de las muestras M1, M2 y M3 fueron; ph, C.E., %M.O., %C, %N, C/N, %P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, %K<sup>2</sup>O.

#### **3.3.2.14. Zonas necesarias para el tratamiento de elaboración de compost**

El área de compostaje fue 15 m<sup>2</sup> y se encuentra dividido como sigue:

- **Zona de recepción:** Es el lugar donde se deposita los residuos sólidos orgánicos provenientes de la recolección de la ciudad, luego estos residuos se clasificaron debido a que la segregación no es tan óptima.
- **Zona de biodegradación:** Lugar en el cual se armaron las pilas intercalando cada 10-15cm de altura de residuo sólido orgánico urbano una capa fina de 2-3 cm de espesor de estiércol para facilitar el proceso de compostaje, el cual acelera la colonización del montón por parte de los microorganismos, es aquí donde se le da las condiciones favorables (humedad y C/N) para obtener un buen producto final.

- **Zona de maduración:** Es la parte en la que se deja reposar al compost, en el transcurso del tiempo se debe remover, con la finalidad de oxigenarlo y que los microorganismos presentes no fallezcan, para el cual se tuvo un ambiente techado para que tenga las mejores condiciones, ya que por factores climáticos iniciaron las lluvias consecutivas.
- **Zona de producto estable:** Es una zona habilitada para el almacenamiento del compost, después del proceso de compostaje una vez que el compost se encuentre estable.
- **Tamizado de las pilas:** Después de 85 días se tamizó la pila con malla de 12 mm y 25 mm de diámetro.



**Figura 12.** Diagrama de flujo del proceso de compostaje para obtención de compost.

### 3.3.3. Premisas generales de diseño

La presente investigación, es experimental por lo que se vio en campo el proceso de elaboración de compost a partir de los residuos sólidos orgánicos urbanos en la ciudad de Juli, para la propuesta de un diseño de planta de tratamiento para elaboración de compost, propongo el siguiente diseño, viendo las necesidades de, funcionamiento, programa de necesidades, secuencia del proceso de compostaje y espacios requeridos para cada área de producción.

#### 3.3.3.1. Premisas de diseño

Las premisas de diseño estarán enfocadas básicamente en tres áreas que son:

- Premisas de funcionamiento
- Premisas respecto al diseño
- Premisas de entorno

##### 3.3.3.1.1. Premisas de funcionamiento

Principalmente se tomará en cuenta el área ergonómica que se requiere para realizar estos procesos. Esto quiere decir que como resultado de la investigación que se realizó en casos análogos y otras fuentes bibliográficas este aspecto es primordial en esta investigación.

Respecto a las instalaciones para la propuesta de planta de tratamiento de residuos sólidos orgánicos urbanos a partir de la obtención de compost, se realizó de acuerdo a las instalaciones requeridas según el proceso de elaboración de compost en pilas abiertas.

#### *3.3.3.1.2. Premisas respecto al diseño*

Luego de tener un amplio conocimiento respecto al funcionamiento de la planta procesadora de compost, surge la idea generatriz de la investigación. Mostrando una arquitectura simple, con mucho carácter volumétrico, utilizando también ejes simples como resultado de una geometría exacta. La ubicación de los ejes en la investigación corresponde a la elaboración de los diferentes procesos que se realizarán en la planta procesadora de compost.

Tomando en cuenta que los vientos predominantes del área deben quedar contrarios al ingreso de la misma.

#### *3.3.3.1.3. Premisas de entorno*

Se considera aspectos como el clima, circulación de viento y sus salidas, áreas con mucho calor.

#### *3.3.3.2. Diagramas de diseño*

Se presentan una serie de diagramas por medio de los cuales se concibe el diseño arquitectónico con una relación ergonómica lógica e indispensable.

#### *3.3.3.3. Programa de necesidades*

Aquí se muestra la lista de ambientes que se requiere para el funcionamiento de la planta procesadora de compostaje.

#### 3.3.3.4. *Secuencia de proceso de compostaje*

Este diagrama muestra los pasos a seguir, es decir la secuencia de los diferentes procesos en que se someterá la materia prima para obtener el producto final.

#### 3.3.3.5. *Determinación del espacio requerido para cada área de producción*

La metodología que se propone es por el método de P.F. Guerchef esta metodología propone el cálculo de área total para cada espacio que se utilizara de acuerdo a las necesidades para la planta propuesta, la secuencia del cálculo es la siguiente:

##### 3.3.3.5.1. *Superficie estática (Ss)*

Es el área que debe corresponder a los muebles, maquinarias, instalaciones y equipos dentro del departamento.

$$\mathbf{Ss = Largo \times Ancho}$$

**Dónde:**

Ss = superficie estática

##### 3.3.3.5.2. *Superficie de gravitación (Sg).*

Es la superficie utilizada alrededor de los puestos de trabajo por el empleado y para el material acopiado para las operaciones en curso.

$$\mathbf{Sg = Ss \times N}$$

**Dónde:**

Sg = superficie de gravitación

Siendo “N” el número de lados a partir de los cuales el mueble o la máquina deben ser utilizados.

#### 3.3.3.5.3. *Superficie de evolución (Se):*

Es la superficie que se mantendrá entre los puestos de trabajo para considerar los desplazamientos del personal.

$$Se = (Ss + Sg) \times K$$

**Dónde:**

Se = superficie evolución

Siendo “K” la relación entre las dimensiones de los hombres (altura promedio 1,65 m) u objetos (área) que se desplazan dentro del departamento y el doble del promedio de las alturas de los muebles o máquinas entre los cuales estos se desenvuelven y que están estáticas en el departamento.

#### 3.3.3.5.4. *Superficie total (St).*

Es la suma de la tres anteriores.

$$St = (Ss + Sg + Se) \times n$$

**Dónde:**

St = superficie total

Siendo “n” el número de máquinas o muebles requeridos en cada departamento.

Estas muestran un análisis previo que da como resultado una aproximación del dimensionamiento de los ambientes en lo que respecta al área, calculada en metros cuadrados.

#### 3.3.3.6. *Idea de diseño*

La propuesta planta de tratamiento surge de la necesidad de espacios, para la producción de compost, orientados a ser utilizados en función de las tareas específicas que se requieran.

## CAPITULO IV

### RESULTADOS

#### 4.1. Caracterización de los residuos sólidos en la ciudad de Juli

##### 4.1.1. Población de Juli

Se consideraron para el área urbana los siguientes aspectos, teniendo en cuenta los datos de los censos poblacionales efectuados por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) tanto en el año 1993 y 2007.

**Tabla 4.1.** *Tasa de crecimiento poblacional para la zona urbana de la ciudad de Juli*

TASA DE CRECIMIENTO POBLACIONAL			
POBLACION	Po 1993	Pf 2007	(r) tci 93-2007
Zona urbana de Juli	6498	8157	1.26%

En la tabla anterior se observa la tasa de crecimiento poblacional entre los años de 1993 y 2007 en la zona urbana de la ciudad de Juli, el cual es 1.26 %.

**Tabla 4. 2.** *Población proyectada para la zona urbana de la ciudad de Juli*

POBLACION PROYECTADA			
POBLACION	2007	tci 93-2007	2013
Zona urbana de Juli	8157	1.26%	8992

En la tabla anterior se ha utilizado el porcentaje de crecimiento poblacional para el año 2013, el cual nos da como resultado 8992 habitantes en la ciudad de Juli.

#### 4.1.2. Determinación del número de muestras

A partir de los datos obtenidos se procedió a calcular el número de viviendas para posterior a ello calcular el número de muestras para realizar la caracterización de residuos sólidos urbanos en la ciudad de Juli.

**Tabla 4.3.** *Número de viviendas para la zona urbana de la ciudad de Juli*

Nº	Tipo	Distrito	Hab/Viv.	Población	
1	Zona urbana	Juli	2.8	2007	2013
				2891	3186.9
		Total			3186.9

Se ha realizado el producto de habitantes entre el promedio de habitante por vivienda para el año 2013, el cual nos resulta con 3186.9 viviendas

Posterior a este cálculo se determinó el número de muestras a tomar: Los residuos sólidos orgánicos urbanos son recolectados de 50 hogares del distrito de Juli zona urbana. Estos 50 hogares fueron tomados al azar.

#### *Reemplazando valores*

$$n = \frac{1.96^2 - (3187) \cdot (0.20)^2}{(3187 - 1)(0.056)^2 + (1.96)^2(0.20)^2}$$

$$n = \frac{489.73}{10.14} = 48.27$$

#### ***DONDE:***

*n = muestras de vivienda*

*N = 3187 viviendas*

*Z = 1.96*

$$O = 0.20 \text{ kg/hab/día}$$

$$E = 0.056 \text{ kg/hab/día}$$

Se obtiene 48 viviendas, se considera adicionar una muestra de contingencia de 2 viviendas, siendo la muestra total de 50 viviendas.

#### 4.1.3. Proyección per cápita de generación total de residuos sólidos domiciliarios en la ciudad de Juli

**Tabla 4.4.** *Generación per cápita*

Localidad	Población Total	Generación	Generación de residuos	Generación de residuos sólidos
	(Habitantes) Año 2013	Per Capita (kg/hab-día)	Doméstico (kg/día)	Doméstico (Ton/día)
Juli	8992	0.4	3596.8	3.60

En el cuadro anterior se obtuvo la generación per cápita que es un dato muy importante para realizar el diseño de planta de tratamiento, en nuestro caso es de 0.4 kg/hab.-día.

#### 4.1.4. Composición física de residuos sólidos urbanos

Luego de la recolección de muestras obtenidas en las tres zonas, alta, media y baja, se procedió a la clasificación y pesaje de los residuos sólidos orgánicos e inorgánicos para luego realizar la caracterización de los residuos sólidos orgánicos.

**Tabla 4.5.** *Composición física de los residuos sólidos urbanos en la ciudad de Juli.*

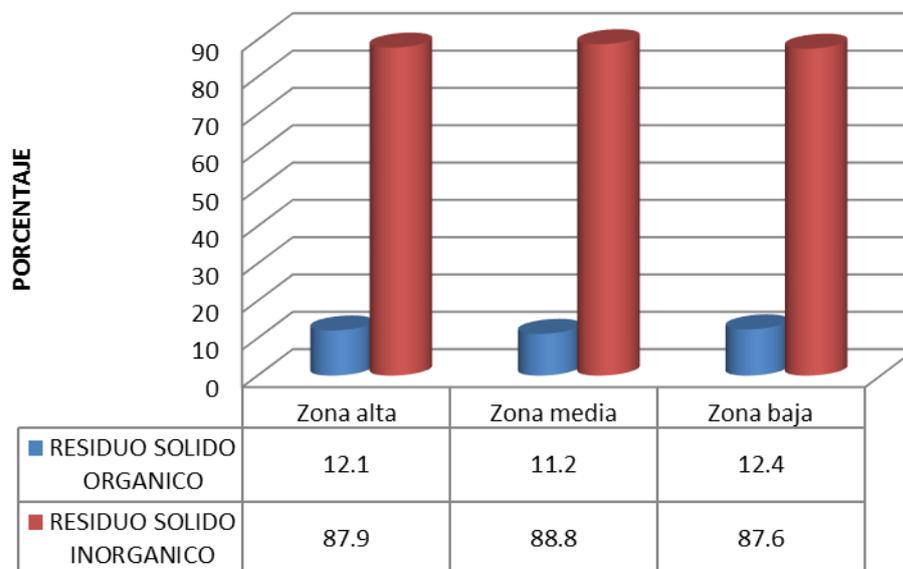
Zona	Residuo sólido orgánico (kg.) (a)	Residuo sólido inorgánico (kg.) (b)	Total (kg.) a + b
alta	41.773	303.462	345.235

media	10.01952	79.44048	89.460
baja	17.7196	125.1804	142.900

En el cuadro anterior se observa que el material inorgánico está presente en mayor cantidad en las tres zonas de trabajo, sin embargo es en la zona media donde se puede apreciar un poco más la presencia de material inorgánico, suponemos que se debe a que en este lugar existe varios centros comerciales, tiendas y otros que ayudan a estos elementos.

La investigación realizada a partir de la caracterización de residuos sólidos urbanos en la ciudad de Juli, comparados con la definición de (Alcas et al., 2005) el cual menciona que viene a ser el análisis de la cantidad y característica de residuos que se generan en las viviendas y es un dato técnico sumamente importante que nos genera la suficiente información para mejorar la operatividad de cualquier sistema de gestión de residuos sólidos municipales, tiene mucho sentido el cual comparto, ya que a partir de ello he podido obtener cantidades los cuales me dan soporte a mi investigación.

A continuación, en las figura se muestra el porcentaje de material orgánico e inorgánico generados en la zona alta, media y baja de la ciudad de Juli, el cual nos permite identificar que al material orgánico está presente en buena cantidad y que según (RUIZ, et al., 2006), dice que para la elaboración del compost se puede emplear cualquier materia orgánica, con la condición de que no se encuentre contaminada.



**Figura 13.** Composición física de residuos sólidos urbanos zona alta, media y baja

En el figura 13 se observa los porcentajes de residuos sólidos orgánicos e inorgánicos en cada una de las zonas alta, media y baja en 12.1%, 87.9%; 11.2%, 88.8%; 12.4%, 87.6% respectivamente; se observa claramente que el material inorgánico en la ciudad de Juli tiene mayor representatividad, compuestos por bolsas plásticas y otros que directamente van hacia el botadero de la municipalidad, produciendo grandes cantidades de contaminantes debido a la falta de tratamientos de estos insumos, sin embargo nos muestra también que existe un porcentaje significativo de material orgánico (restos de comida) que servirá para nuestra investigación.

#### 4.1.5. Composición física de los residuos sólidos orgánicos urbanos

Para nuestro trabajo de investigación, teniendo como respaldo la cantidad de material orgánico generado por la ciudad de Juli, se procedió a describir la composición física de los residuos sólidos orgánicos urbanos

de acuerdo a las zonas descritas en el objetivo primero de esta investigación, las cuales se dividían en zonas altas, medias y bajas.

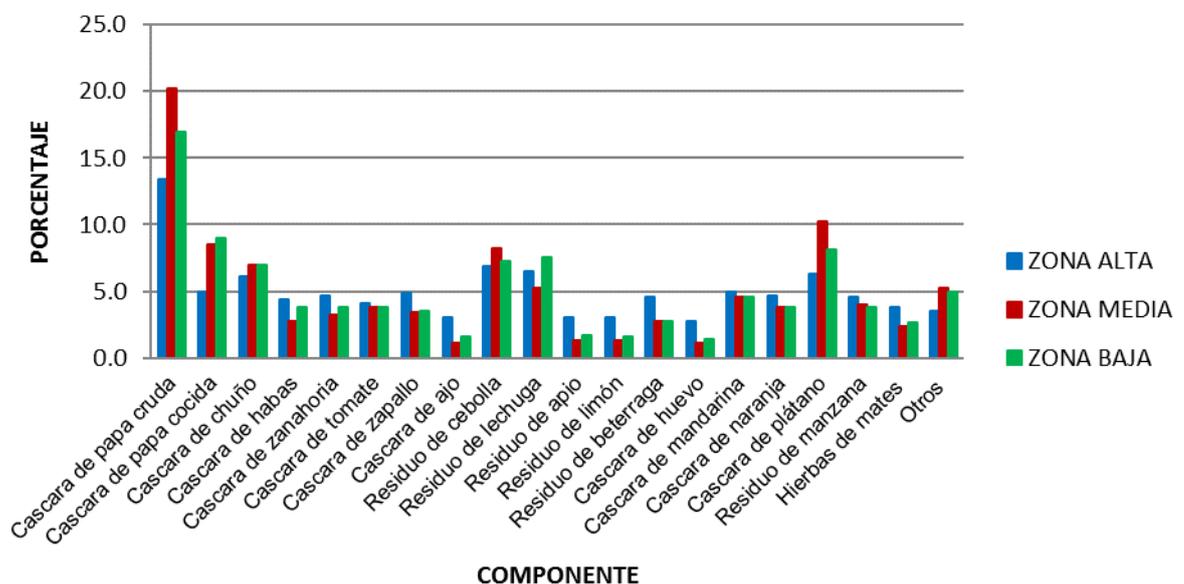
**Tabla 4.6.** *Composición física de los residuos sólidos orgánicos urbanos generados en la ciudad de Juli (febrero 2014)*

Componente	Zona alta		Zona media		Zona baja		Promedio	
	(gramos)	%	(gramos)	%	(gramos)	%	(gramos)	%
Cascara de papa cruda	5589.0	13.4	2022.0	20.2	3006.8	17.0	3539.3	15.3
Cascara de papa cocida	2049.0	4.9	847.0	8.5	1591.8	9.0	1495.9	6.5
Cascara de chuño	2569.0	6.2	697.0	7.0	1231.8	7.0	1499.3	6.5
Cascara de habas	1819.0	4.4	272.0	2.7	681.8	3.9	924.3	4.0
Cascara de zanahoria	1929.0	4.6	322.0	3.2	671.8	3.8	974.3	4.2
Cascara de tomate	1689.0	4.1	377.0	3.8	681.8	3.9	915.9	4.0
Cascara de zapallo	2029.0	4.9	342.0	3.4	631.8	3.6	1000.9	4.3
Cascara de ajo	1269.0	3.0	117.0	1.2	291.8	1.6	559.3	2.4
Residuo de cebolla	2869.0	6.9	827.0	8.3	1281.8	7.2	1659.3	7.2
Residuo de lechuga	2719.0	6.5	522.0	5.2	1331.8	7.5	1524.3	6.6
Residuo de apio	1269.0	3.0	127.0	1.3	301.8	1.7	565.9	2.4
Residuo de limón	1269.0	3.0	129.5	1.3	286.8	1.6	561.8	2.4
Residuo de beterraga	1919.0	4.6	272.0	2.7	491.8	2.8	894.3	3.9
Cascara de huevo	1149.0	2.8	109.5	1.1	246.8	1.4	501.8	2.2
Cascara de mandarina	2049.0	4.9	459.5	4.6	811.8	4.6	1106.8	4.8
Cascara de naranja	1929.0	4.6	377.0	3.8	681.8	3.9	995.9	4.3
Cascara de plátano	2629.0	6.3	1022.0	10.2	1441.8	8.1	1697.6	7.3
Residuo de manzana	1919.0	4.6	402.0	4.0	681.8	3.9	1000.9	4.3
Hierbas de mates	1569.0	3.8	234.5	2.3	471.8	2.7	758.4	3.3
Otros	1469.0	3.5	522.0	5.2	881.8	5.0	957.6	4.1
<b>TOTAL</b>	<b>41700.0</b>	<b>100.0</b>	<b>10000.0</b>	<b>100.0</b>	<b>17700.0</b>	<b>100.0</b>	<b>23133.3</b>	<b>100.0</b>

En nuestra Tabla anterior refleja que la población de Juli por estar en una zona alto andina consume básicamente productos que se elaboran en el ámbito ya que nos muestra un porcentaje mayor en consumo de cascara de papa cruda (15.3%), cascara de papa cocida (6.5%) y cascara de chuño (6.5%), esto favorece a nuestra investigación debido a que estos alimentos

son altamente biodegradables previa trituración en partículas más pequeñas.

A continuación se presenta la caracterización de residuos sólidos orgánicos urbanos según las zonas de muestreo, alta, media y baja con la finalidad de identificar los componentes con mayor porcentaje de presencia, esto para poder definir el tipo de equipos que se utilizaran en el proceso de armado de pilas de compostaje.



**Figura 14.** Composición física de los residuos sólidos orgánicos urbanos en la ciudad de Juli.

**De la figura 14.** En promedio los componentes físicos que más resaltan son la cascara de papa cruda y cocida, cascara de chuño, cascara de cebolla y cascara de lechuga; para nuestra investigación es necesario la implementación de una máquina trituradora de material orgánico duro para realizar el proceso de compostaje en forma eficiente.

La caracterización de residuos sólidos orgánicos urbanos en la ciudad de Juli nos ha permitido obtener datos para la elaboración de

compost, sabiendo que del total de residuos generados por la ciudad en promedio de las tres zonas evaluadas el 11.92% es materia orgánica y que los componentes que lo conforman favorecen al desarrollo de elaboración de compost.

Por otro lado se sabe que la producción per cápita (PPC) de la ciudad de Juli es 0.4 kg/hab/día que multiplicados por la cantidad total de habitantes se tiene 3596.8 kg/día de residuos urbanos y el 11.92% representaría la suma de 428 kg/día de materia orgánica utilizable para la elaboración de compost.

#### **4.2. Influencia de la adición de estiércol en la obtención del compost en un sistema abierto (pilas con volteo)**

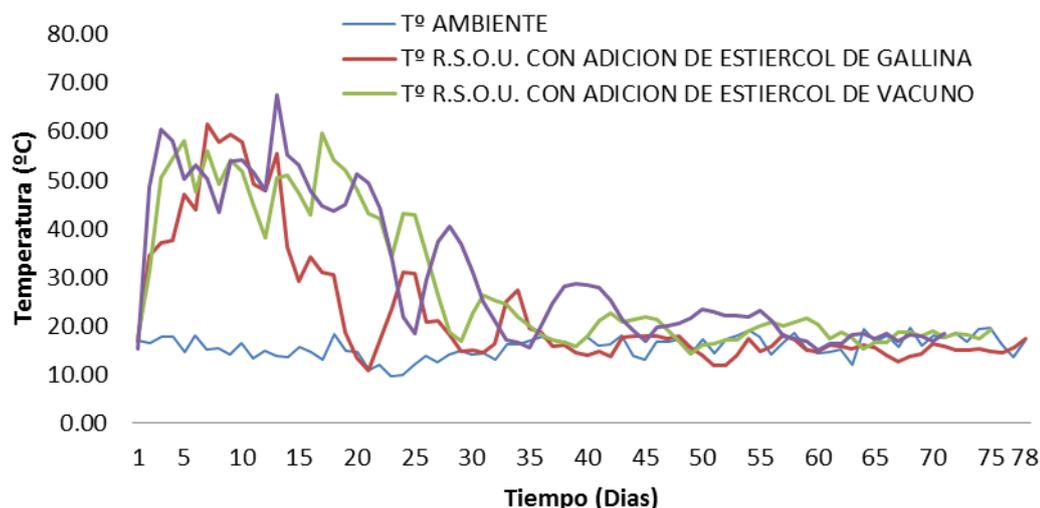
##### **4.2.1. Dinámica de temperatura y tiempo de compostaje con adición de estiércol de gallina, vacuno y ovino**

Las temperaturas han sufrido constantes cambios, desde la elaboración de las pilas de compostaje hasta la etapa de maduración del mismo, se ha procedido a la realización de la medición del compost en muestras de 3 por día, la primera por la mañana de 8:30 a 9 am, la segunda toma de datos 12 a 1 pm y la tercera de 4:30 a 5 pm, cada una fue diferentes medidas, esta toma de muestras se desarrolló durante todo el proceso de compostaje.

La investigación realizada en la ciudad de Juli del Departamento de Puno, sufrió por varios cambios de temperatura tal como lo menciona (Ruiz, et al., 2006) el cual lo divide en fases, mesofila, termófila, enfriamiento y maduración; en nuestra investigación según datos recopilados en todo este

proceso de compostaje se ha podido observar estas fases estando de acuerdo con (Ruiz, et al., 2006).

En la siguiente figura muestra los cambios de temperatura, notando que en los primeros días de armado la pila de compostaje es donde sufre un cambio de temperatura significativo, en caso de mi investigación he notado que el tiempo del proceso de compostaje es menor en el compost con adición de estiércol de ovino por lo que digo que es un elemento importante si se quiere tener compost en menos tiempo.



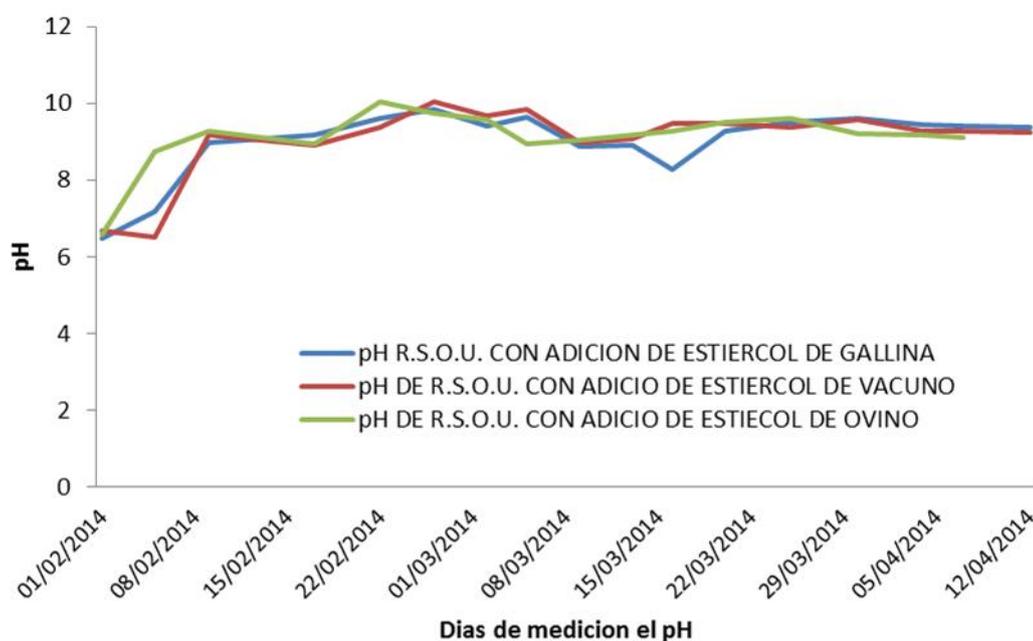
**Figura 15.** Dinámica de la temperatura en la pila de compostaje a partir del armado hasta la maduración del compost.

En la figura anterior se ha realizado la comparación del tiempo de obtención de compost, utilizando para ello las temperaturas promedio de tres pilas de conformación de compost de cada una, con adición de gallina, de vacuno y ovino; obteniendo como resultado que, la pila de compost con adición de estiércol de ovino es el que menos tiempo de proceso de compostaje tiene.

#### 4.2.2. Dinámica de pH del compost con respecto a la adición de estiércol de gallina, vacuno y ovino

En la investigación se realizó el control del Ph (medida de acides o alcalinidad) que es uno de los factores que determinan la calidad de compost, para ello se obtuvo datos cada cierto tiempo durante todo el proceso de compostaje; al final se comparó con la calidad de compost obtenido con respecto a CONAM, el cual nos sugiere que se encuentre entre 5 – 8; en nuestros resultados la pila de compostaje conformado por residuos sólidos orgánico urbanos con adición de estiércol de ovino se encuentra dentro de los parámetros obtenidos con 8.42, por lo que decimos que es un compost de buena calidad.

A continuación se muestra la variación del pH respecto al tiempo de los tres tipos de muestra que se realizó en mi investigación.



**Figura 16.** pH en las pilas de compostaje de residuo sólido orgánico urbano con adición de estiércol de gallina, vacuno y ovino.

En la figura muestra la dinámica del pH que no es homogéneo, debido a que a diario las condiciones en que se encuentra varían, caso de la temperatura, agua y oxígeno; es por ello el control diario de los factores que determinaran la calidad del compost, la adición de agua, el volteo o aireación son importantes y fundamentales para obtener un pH óptimo.

#### 4.2.3. Volteo de las pilas para aireación y corrección de humedad

En la tres pilas de compostaje M1 (RSOU-EG), M2 (RSOU-EV) y M3 (RSOU-EO) el volteo para la aireación se realizó de acuerdo al incremento y descenso de temperatura, las mismas fechas que se tomaron las muestras para el análisis de pH, los cuales se realizaron de acuerdo a la dinámica de la temperatura y para poder mantener la humedad se hizo manualmente, con la técnica del empuñado, en todo el proceso de compostaje.

**Tabla 4.7.** *Volumen inicial de las pilas de compostaje M1 (RSOU-EG), M2 (RSOU-EV) Y M3 (RSOU-EU)*

Compost	Diámetro cm	Altura cm	Volumen cm <sup>3</sup>	Volumen m <sup>3</sup>
M1 (RSOU-EG)	78.00	35.00	55747.69	0.06
M2 (RSOU-EV)	140.00	51.00	261695.28	0.26
M3 (RSOU-EO)	135.00	48.00	229022.64	0.23

En la tabla se observa la conformación de la pilas de compostaje, con su diámetro, altura y volumen de cada uno de las pilas a compostar.

**Tabla 4.8.** *Volumen final de las pilas de compostaje M1 (RSOU-EG), M2 (RSOU-EV) Y M3 (RSOU-EU)*

Compost	Diámetro cm	Altura cm	Volumen cm <sup>3</sup>	Volumen m <sup>3</sup>	%
M1 (RSOU-EG)	72.00	28.00	38000.70	0.04	68.17
M2 (RSOU-EV)	120.00	45.00	169645.97	0.17	64.83
M3 (RSOU-EO)	115.00	40.00	138491.85	0.14	60.47

En las tablas 4.7 y 4.8 en los cuales nos muestran el volumen, de las pilas de compostaje y de compost respectivamente, podemos observar que el volumen disminuye, en la pila M1 (RSOU-EG) se redujo en un 31.83% ya que la pila de compost representa el 68.17%, en la pila M2 (RSOU-EV) se redujo en un 35.17% ya que la pila de compost representa el 64.83% y en la pila M3 (RSOU-EO) se redujo un 39.53% obteniéndose así un volumen equivalente al 60.47%.

**Tabla 4.9.** *Parámetros físicos del compost maduro en las tres pilas*

<b>Parámetro</b>	<b>M1 (RSOU-EG)</b>	<b>M2 (RSOU-EV)</b>	<b>M3 (RSOU-EO)</b>
Temperatura	Estable (cercano al del medio ambiente)	Estable (cercano al del medio ambiente)	Estable (cercano al del medio ambiente)
Color	Marrón	Marrón oscuro	Marrón muy oscuro
Olor	Agradable (a tierra húmeda)	Agradable (a tierra húmeda)	Agradable (a tierra húmeda)
Tiempo Promedio	90 – 105 días	85 – 100 días	80 – 90 días

Es la pila M1 (RSOU-EG), se pudo observar la poca manejabilidad, se formaban grumos muy grandes y hay apelmazamiento, en el momento de realizar el volteo de la pila para la aireación correspondiente, esto por motivo que el estiércol de gallina contiene tierra muy fina y que al agregar el agua se hace como una masa. En cambio las pilas M2 (RSOU-EV) y M3 (RSOU-EO) con adición de estiércol de vacuno y ovino respectivamente, son más manejable el cual facilita su oxigenación de forma homogénea y mantienen su humedad mejor que la pila con adición de estiércol de gallina, motivo por el cual requieren menor tiempo de compostaje.

De acuerdo a la investigación que realizan (*Altamirano y Cabrera 2006*) en el “Estudio comparativo para la elaboración de compost por técnica

manual”, obtienen el compost en poza a partir de la mezcla de residuos sólidos orgánicos urbano con estiércol de vacuno en 3 meses y una semana, y en nuestro caso se obtuvo el compost en pila a partir de residuos sólidos orgánicos urbanos con adición de estiércol de vacuno en 85 – 100 días, por lo tanto se coincide en el tiempo de compostaje.

**Tabla 4.10.** *Balance de masa en la obtención del compost*

Componente	M1 (RSOU-EG)		M2 (RSOU-EV)		M3 (RSOU-EO)	
	kg	%	Kg	%	kg	%
Compost	30.60	32.21	66.40	35.13	54.90	33.07
Residuo	10.10	10.63	28.00	14.81	22.60	13.61
Perdida	54.30	57.16	94.60	50.05	88.50	53.31
Total	95.00	100.00	189.00	100.00	166.00	100.00

- El compost obtenido es aproximadamente el 30% del total de los residuos sólidos orgánicos urbanos con sus respectivas adiciones de estiércol compostados, estos pasaron por un tamiz de 12 y 25 mm de diámetro, en el cual coincidimos con los resultados de (Monge y Wharwood, 1993), en la investigación “*Compostificación de Residuos de Mercados*”.
- Los residuos son como una especie de compost grueso, estos son mayores a  $\frac{1}{4}$  de pulgada, esto sirve para preparar otra pila de compostaje o para enmienda de suelos arcillosos. Y la pérdida nos indica la transformación de materia en energía y evaporación de agua.
- Si se llegara a tratar todo los residuos sólidos orgánicos urbanos en el distrito de Juli de un total de 3.59 TM/día de residuo sólido, estaríamos tratando 428.74 kg por día y del cual obtendríamos aproximadamente 128.62 kg de compost en 80-95 días.

**4.2.4. Calidad de compost a partir de residuos sólidos orgánicos urbanos en el distrito de Juli, en un sistema abierto (pilas con volteo)**

Se realizó un análisis físico químico y microbiológico en el laboratorio, cuando culmino el proceso de biodegradación y ya teniendo el compost estabilizado como producto, se evaluó la calidad comparando con lo establecido por CONAM y NCh 2880 Of. 2004, de acuerdo a los siguientes parámetros: ph, conductividad eléctrica, materia orgánica, carbono orgánico, nitrógeno, fosforo, potasio y coliformes fecales.

**Tabla 4.11. Análisis fisicoquímico de compost obtenido**

Muestra	Clave de campo	pH	C.E. dS/m	% M.O.	% C	% N	C/N	% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	% K <sub>2</sub> O
M1	Compost de residuos sólidos orgánicos urbanos con adición de estiércol de gallina (RSOU-EG)	9.10	4.30	27.90	16.03	1.22	13.14	1.89	1.61
M2	Compost de residuos sólidos orgánicos urbanos con adición de estiércol de vacuno (RSOU-EV)	9.44	6.76	36.79	21.31	1.57	13.57	2.41	2.26
M3	Compost de residuos sólidos orgánicos urbanos con adición de estiércol de ovino (RSOU-EO)	8.42	7.63	53.61	28.69	1.93	14.87	2.67	2.19

Fuente: Resultados de análisis de abono orgánico compost (Lab. De Agua y suelos de la FCA.-UNA PUNO)

**Tabla 4.12. Análisis microbiológico de compost obtenido**

Muestra	Coliformes fecales NMP	Coliformes totales NMP	Recuento total de bacterias aerobias mesófitas
M1 (RSOU-EG)	Negativo	Mayor a 2400/100ml	83340 UFC/g
M2 (RSOU-EV)	Negativo	Mayor a 2400/100ml	890700 UFC/g
M3 (RSOU-EO)	Negativo	Mayor a 2400/100ml	1185200 UFC/g

Para poder saber de qué calidad se obtuvo el compost en las tres pilas, con sus respectivas mezclas de residuos sólidos orgánicos urbanos y estiércol de gallina, vacuno y ovino respectivamente, se evalúa comparando con lo establecido por CONAM – Perú y también por la Norma de Chile (NCh 2880. Of. 2004).

**Tabla 4.13.** *Calidad de compost obtenido con respecto a CONAM*

	<b>M1 (RSOU-EG)</b>	<b>M2 (RSOU-EV)</b>	<b>M3 (RSOU-EO)</b>	<b>CONAM</b>
Ph	9.10	9.44	8.42	5 - 8
C.E	4.30 dS/m	6.76 dS/m	7.63 dS/m	Menor a 2 mmhos/cm o dS/m
M.O	27.90%	36.79%	53.61%	Mayor a 30%
C	16.03%	21.31%	28.69%	---
N	1.22%	1.57%	1.93%	---
C/N	13.14	13.57	14.87	Menor a 25
P <sub>3</sub> O <sub>3</sub>	1.89%	2.41%	2.67%	Mayor a 0.5%
K <sub>3</sub> O	1.61%	2.26%	2.19%	Mayor a 0.3 %
Coliformes fécules	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno

- El pH del compost obtenido de las tres pilas M1 (RSOU-EG), M2 (RSOU-EV) y M3 (RSOU-EO), comparando con los estándares de calidad que da el CONAM, son elevados porque se agregó estiércol, los cuales tienen el pH elevado, además por factores climáticos con lluvias consecutivas, se cubrieron las pilas con plástico el cual hizo que se elevara el pH, por esta razón de acuerdo al pH alcalino que poseen estos productos pueden ser útiles para suelos ácidos o para plantas o cultivos que requieren suelos alcalinos.
- La conductividad eléctrica en las tres pilas M1 (RSOU-EG), M2 (RSOU-EV) y M3 (RSOU-EO), exceden a lo establecido por el CONAM, el cual

quiere decir que tiene una salinidad elevada, por lo tanto no es recomendable aplicar directamente a la raíz del cultivo, este compost es mejor aplicarlo sobre la superficie para tener mejores resultados en los cultivos.

- Con respecto a la materia orgánica la muestra de compost M1 (RSOU-EG), difiere de lo establecido por CONAM en un mínimo porcentaje, pero las muestras de compost M2 (RSOU-EV) y M3 (RSOU-EO) tienen una buena cantidad de materia orgánica, por lo tanto cumplen con los estándares de un compost después de su cosecha, por lo tanto este compost, será muy útil para la agricultura.
- La relación C/N de las tres muestras de compost M1 (RSOU-EG), M2 (RSOU-EV) y M3 (RSOU-EO) cumplen con lo establecido por CONAM, el cual quiere decir que son útiles para la agricultura.
- Con respecto al contenido de fósforo y potasio, exceden ampliamente a lo establecido por CONAM, el cual quiere decir que las tres muestras de compost M1 (RSOU-EG), M2 (RSOU-EV) y M3 (RSOU-EO), tienen un alto valor fertilizante, por su presencia de macronutrientes.
- Las tres muestras de compost M1 (RSOU-EG), M2 (RSOU-EV) y M3 (RSOU-EO) no contienen coliformes fecales, tal como el CONAM establece, que el compost no debe contener coliformes fecales, por lo tanto el compost obtenido en las tres pilas de compostaje, es apto para uso en cultivos comestibles y no comestibles.

**Tabla 4.14.** *Calidad de compost obtenido con respecto a la norma de Chile*

Parámetro	M1 (RSOU-EP)	M2 (RSOU-EV)	M3 (RSOU-EQ)	NORMA CHILENA (NCh 2880 of 2004)
Ph	9.10	9.44	8.42	5 – 8.5
C.E	4.30 dS/m	6.76 dS/m	7.63 dS/m	Menor a 3 dS/m tipo A y menor o igual a 8 dS/m tipo B
M.O	27.90%	36.79%	53.61%	Mayor a 30%
C	16.03%	21.31%	28.69%	---
N	1.22%	1.57%	1.93%	---
CN	13.14	13.57	14.87	Menor a 25 tipo A y menor a 30 tipo B
P <sub>3</sub> O <sub>3</sub>	1.89%	2.41%	2.67%	---
K <sub>3</sub> O	1.61%	2.26%	2.19%	---
Coliformes fecales	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno

- El pH del compost obtenido de las muestras de compost M1 (RSOU-EG), M2 (RSOU-EV) y M3 (RSOU-EQ), sobrepasan a lo establecido por la normativa chilena, pero las muestras de compost M3 (RSOU-EQ), tiene el pH adecuado, ya que está dentro de lo establecido por dicha norma, de acuerdo al pH alcalino que poseen estos productos pueden ser útil para suelos ácidos.
- De acuerdo a la conductividad eléctrica las tres muestras de compost M1 (RSOU-EG) y M2 (RSOU-EV) y M3 (RSOU-EQ). Están dentro del rango del compost del tipo B. ya que todos tienen mayor a 3 ds/m y menor a 8 ds/m. por lo tanto el compost obtenido debe ser usado con restricción en el cultivo, uno de ellas es no aplicar el compost directamente en la raíz.
- Con respecto a la materia orgánica la muestra de compost M1 (RSOU-EG), difiere de lo establecido por la norma chilena en un mínimo porcentaje, pero las muestras de compost M2 (RSOU-EV) y M3 (RSOU-EQ), tienen una buena cantidad de materia orgánica, por lo tanto cumplen

con los estándares establecidos. El cual quiere decir que es apto para uso agronómico.

- La relación C/N de las tres muestras de compost M1 (RSOU-EP), M2 (RSOU-EV) y M3 (RSOU-EO), cumplen con lo establecido por la norma chilena para el compost de tipo A, ya que tiene una relación con C/N menores a 25% este parámetro nos indica que tiene una buena relación C/N para uso agronómico.
- Las tres muestras de compost M1 (RSOU-EP), M2 (RSOU-EV) y M3 (RSOU-EO), no contienen coliformes fecales, la norma chilena nos da un estándar: Menor a 1000 NMP por g de compost pueden ser utilizados en cualquier cultivo ya sea comestible o no comestible, porque no contienen coliformes fecales.

**Tabla 4.15.** Comparación del compost obtenido en pila en Juli, con respecto al compost en poza, a partir de residuos sólidos orgánicos urbanos con adicción de estiércol de vacuno

Parámetro	Compost en pila M2 (RSOU-EV)	Compost en poza (Altamirano y Cabrera, 2006)
pH	9.44	7.10
C.E.	6.76 dS/m	21.10 dS/m
M.O.	36.79	14.90 %
N	1.57	0.64%
P <sub>3</sub> O <sub>3</sub>	2.41%	0.57%
K <sub>3</sub> O	2.26%	1.80%

El pH compost obtenido en la pila M2 (RSOU-EV) y es más alto respecto a lo obtenido por Altamirano y Cabrera en poza, por tal razón nuestro compost tendrá uso restringido.

- La conductividad eléctrica en la pila M2 (RSOU-EV) es muy menor, el cual quiere decir que nuestro compost tiene menor salinidad.
- Con respecto a la materia orgánica la muestra de compost M2 (RSOU-EV) tienen una buena cantidad de materia orgánica, por lo tanto nuestro compost, es muy útil para mejorar suelos para la agricultura.
- El contenido de nitrógeno, fosforo y potasio, exceden ampliamente, el cual quiere decir que tiene más contenido de macronutrientes, que le da un valor fertilizante.

**Tabla 4.16.** Comparación del compost obtenido en pilas en la ciudad de Juli a partir de residuos sólidos orgánicos urbanos con adición de estiércol de gallina, ovino y vacuno respecto a lo obtenido por CEPIS a partir de residuos de mercados

Parámetro	Compost en pila			Residuos de mercados Monge y Whawood (1993) (CEPIS)
	M1 (RSOU-EP)	M2 (RSOU-EV)	M3 (RSOU-EO)	
pH	9.10	9.44	8.42	8 - 9
C.E.	4.30 dS/m	6.76 dS/m	7.63 dS/m	---
M.O.	27.90%	36.79%	53.61%	35 – 45 %
C	16.03%	21.31%	28.69%	17 – 25 %
N	1.22%	1.57%	1.93%	1.2 – 1.8 %
C/N	13.14	13.57	14.87	13 - 14
P <sub>3</sub> O <sub>3</sub>	1.89%	2.41%	2.67%	0.20 – 0.25
K <sub>3</sub> O	1.61%	2.26%	2.19%	---
Coliformes fecales	Ninguno	Ninguno	Ninguno	15000-93000NMP por g

- El pH del compost obtenido de las tres muestras de compost M1 (RSOU-EG) y M2 (RSOU-EV) y M3 (RSOU-EO), se asemejan de acuerdo al pH alcalino que poseen estos productos pueden ser útil para suelos ácidos o con uso restringido.
- Con respecto a la materia orgánica la muestra de compost M1 (RSOU-EG) difiere de lo obtenido por Monge y Wharwood, pero las muestras de

compost M2 (RSOU-EV) y M3 (RSOU-EO) tienen una buena cantidad de materia orgánica, y se aproxima al rango obtenido. El cual quiere decir que es apto para uso agronómico.

- El contenido de nitrógeno y carbono son muy similares por tanto la relación C/N de las tres muestras de compost M1 (RSOU-EG) y M2 (RSOU-EV) y M3 (RSOU-EO), se encuentran muy cercano a lo obtenido por Monge y Wharwood, este parámetro nos indica que tiene una buena relación C/N para uso agronómico.
- Con respecto al contenido de fósforo, exceden ampliamente a lo obtenido por Monge y Wharwood, el cual quiere decir que las tres muestras de compost M1 (RSOU-EG) M2 (RSOU-EV) Y M3 (RSOU-EO), tienen un alto valor fertilizante, por su presencia de macronutrientes.
- Las tres muestras de compost M1 (RSOU-EG), M2 (RSOU-EV) Y M3 (RSOU-EO), no contienen coliformes fecales, por lo tanto las tres muestras de compost pueden ser utilizadas en cualquier cultivo ya sea comestible o no comestible, mientras que el compost obtenido por Monge y Wharwood sobrepasan lo establecido por las normas por tal motivo solo puede ser recomendable su uso para cultivos no comestibles.

### 4.3. Propuesta planta de tratamiento

Este trabajo de investigación desarrolla una alternativa para mejorar el manejo actual de los residuos sólidos orgánicos generados por la ciudad de Juli, proponiendo el diseño de una planta procesadora de compost como una forma de aprovechamiento de estos residuos.

A partir de los resultados obtenidos en cada uno de los tratamientos evaluados, se ha seleccionado la muestra M3 (compost con adición de estiércol de ovino) como el de mejor calidad, este tratamiento mostro las condiciones ideales para obtener un compost de buena calidad y garantiza que puede ser almacenado y aplicado a la tierra sin ocasionar efectos adversos. Se propone un sistema continuo de producción de compost, que aproveche toda la oferta de residuos orgánicos generados periódicamente.

El sistema propuesto consiste en construir pilas a mayor escala considerando un tiempo de compostaje de 90 días, realizando volteos semanales, riegos diarios, con excepción de la última semana del proceso y con unas condiciones ambientales similares al tratamiento que se realizó en la planta piloto.

#### 4.3.1. Premisas de diseño

Para comprender el detalle del funcionamiento de la logística interna y externa, se han construido flujos explicativos de este sistema.

##### 4.3.1.1. Estructura del sistema de manejo de materiales

Los puntos a tomar en consideración para elegir un flujo de materiales, serían:

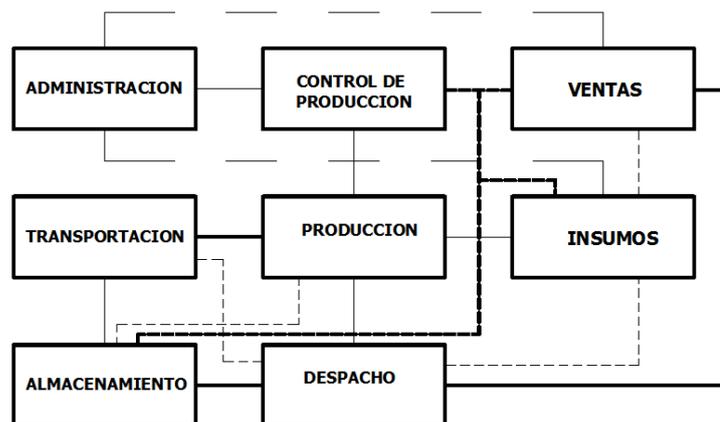
- Tipo de sistema de producción.
- Volumen de producción, tipo y características del producto.

- Minimizar costos de construcción y manipulación.
- Distribución de la planta y construcciones civiles.

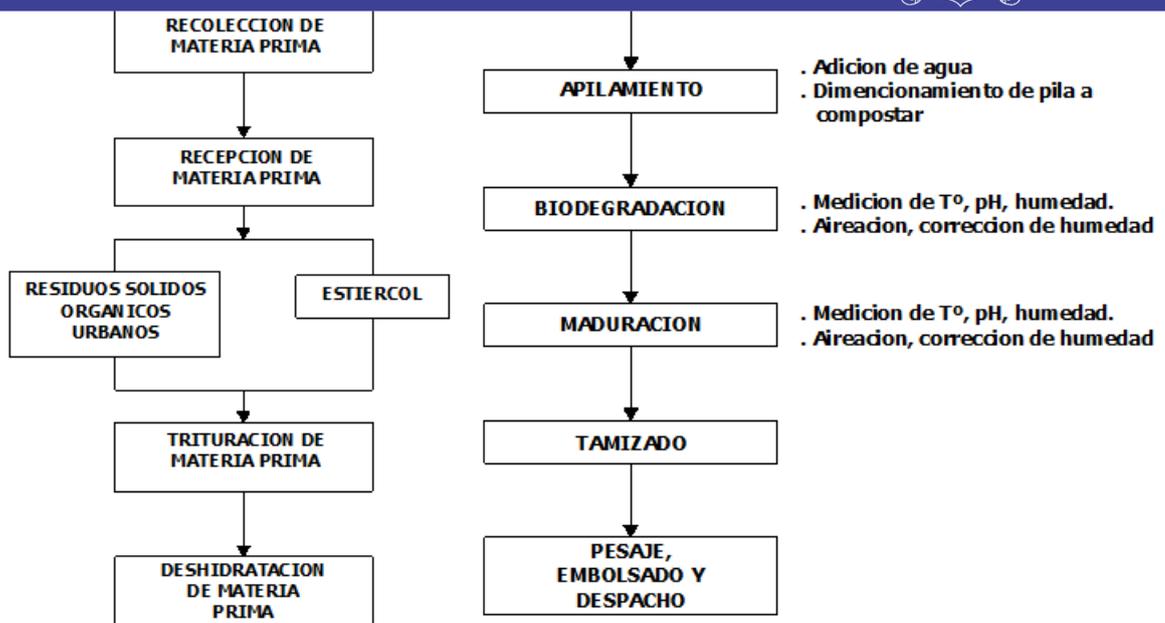
Sistema de manejo de flujo de materiales:

<b>A</b>	<b>Absolutamente necesario</b>	—————
<b>E</b>	<b>Especialmente necesario</b>	— — — — —
<b>I</b>	<b>Importante</b>	- - - - -
<b>O</b>	<b>Parcialmente importante</b>	- - - - -
<b>U</b>	<b>Unimportante</b>	—————

Figura 17. Sistema de flujo y manejo de materiales



Finalmente estableciendo estas relaciones, se realizó un Diagrama de Bloques, que me indica el flujo que debe seguir el proceso productivo, designando las relaciones necesarias y las no deseadas para poder esquematizar la distribución de layout siguiente:



**Figura 18.** Sistema de flujo y manejo de materiales en el área de producción.

El flujo de materiales se obtuvo de la investigación realizada, muestra la secuencia de los procesos de compostaje hasta la obtención del compost, cada proceso cuenta con una área determinada en el ítem 4.3.4.

#### 4.3.2. Secuencia de proceso de compostaje

Para poder realizar la propuesta de una planta de tratamiento para la elaboración de compost fue necesario conocer el proceso productivo para la obtención del compost, a continuación se describen los procesos que se ha realizado desde la recepción de la materia prima hasta la obtención del producto final que es el compost.

- **Área de recepción y almacenamiento de materia prima.-** En esta primera etapa la recepción de la materia prima se realizó en sacos y fue necesario un ambiente en el cual se pudiera alojar a esta materia para su posterior clasificación y pesaje, el material orgánico proveniente de la

ciudad de Juli y sus alrededores fue en forma manual con la protección y uso de implementos de seguridad del personal y herramientas manuales.

- **Área de trituración de materia prima.-** Se realizó en forma manual con el uso de herramientas, sin embargo se plantea una máquina trituradora con fines de optimiza recursos y agilizar las operaciones.
- **Área de deshidratación y pesaje de materia prima.-** Se realizara en forma manual y el uso de herramientas, en esta etapa se debe tener un área extensa, debido a que el material orgánico no debe de pasar la altura de 20 cm con fines de una deshidratación adecuada, para el pesaje se plantea una balanza que permitirá la dosificación exacta para la formación de la pila de compostaje.
- **Área de apilado, biodegradación y maduración de compost.-** Tendrá dimensiones que permitan realizar el apilado en forma correcta es decir por capas como se ha realizado la investigación, además en el área se realizará el riego, volteo para la aireación y la etapa de maduración del compost. Por lo que deberá tener dimensiones significativas para el fácil traslado de materiales, realizar actividades de volteo y registro de datos.
- **Área de tamizado de compost.-** Posterior a la etapa de maduración del compost, contendrá tamiz vibro tamizadora de 12 mm y 25mm, con dimensiones 3.0 m de largo, 1.0 m de ancho y 1.8 m de alto, los trabajos se realizaran en forma manual.
- **Área de embolsado y despacho de compost.-** Es la etapa final del proceso de compostaje, el compost se embolsaran en sacos de capacidad de 85 kg, el trabajo se realizara en forma manual.

#### 4.3.3. Programa de necesidades

Para el proceso de compostaje en nuestra propuesta planta de tratamiento se determinaron en dos formas diferentes; área administrativa y área de producción, las cuales cada uno de ellos tienen diferentes ambientes que a continuación se describen.

*a. Área administrativa.* Se llevará a cabo el intercambio de información de funcionamiento de la propuesta planta de tratamiento para el mejor funcionamiento del mismo, entre ellas se consideran:

- Administración
- Control de producción
- Encargado de ventas
- Encargado de despacho
- Encargado de insumos
- Almacenamiento - Transportación

*b. Área de Compostaje o área de producción.* Se llevará a cabo todo el proceso de compostaje hasta obtener el compost, entre ellas se consideraron los siguientes espacios.

- Área de recepción de materia orgánica.
- Área de trituración de materia orgánica.
- Área de deshidratación de materia orgánica.
- Área de apilado, fermentación y maduración de compost.
- Área de tamizado de compost.
- Área de embolsado y despacho de compost.

La propuesta planta de tratamiento en la primera fase tendrá que tratar 231.90TN/AÑO de materia orgánica más estiércol, considerando que la mitad se recuperaran en el proceso de afino y se reciclaran para usarse nuevamente como material de soporte y sub productos.

Considerando un periodo de almacenamiento de 1 mes, es necesario disponer de: 16 m<sup>2</sup> de bodega de almacenamiento.

Esta superficie corresponde a una nave cerrada, a la que se supone una ocupación de los acopios del 75 %, por lo que se precisa una superficie en planta de 16 m<sup>2</sup>.

Para realizar una adecuada ubicación de los ambientes que contara la planta procesadora de compost, se realizó el análisis de relación de actividades presentado un diagrama que se diseña por medio de códigos que establecen a importancia de ubicación de los ambientes uno de otro, como se puede observar.

Para el diseño de la planta de tratamiento de residuos sólidos orgánicos urbanos planteado en la presente investigación tipo experimental, fue muy necesario e interesante pasar por todos los procesos, desde la recopilación de material orgánico, el proceso de conformación de pilas de compostaje hasta su maduración del mismo, es por ello que viendo todo lo necesario se ha planteado los códigos de importancia entre ambientes, códigos de motivos de proximidad entre departamentos y según la cantidad de material orgánico que produce la ciudad de Juli se determinó las áreas de los ambientes; y tal como menciona (*Martinez, 1991*) define al diseño como el acto creativo que

implica un proceso de interacción dialéctica entre la capacidad crítica del diseñador y su dominio creativo; asimismo, conjuga las capacidades racionales y empíricas de la estructuración formal del diseño, estoy de acuerdo con su teoría. A continuación se plantea los códigos de importancia entre ambientes y códigos de proximidad.

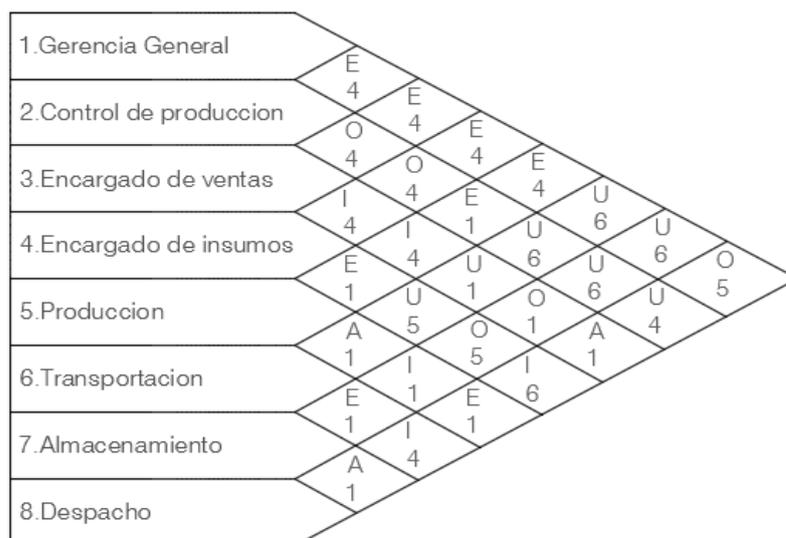
**Tabla 4.17.** *Códigos de importancia de la ubicación entre ambientes*

<b>Código</b>	<b>Definición</b>
A	Absolutamente necesario
E	Especialmente necesario
I	Importante
O	Parcialmente importante
U	No importante

**Tabla 4.18.** *Códigos de los motivos de proximidad entre departamentos*

<b>Código</b>	<b>Motivo</b>
1	Frecuencia de alto uso
2	Frecuencia e uso medio
3	Frecuencia de uso bajo
4	Alto flujo de información
5	Flujo de información medio
6	Flujo de información bajo

Se realizó un Diagrama de Relaciones para conocer en grado de importancia, la comunicación entre cada área de la propuesta planta de tratamiento. Este método se realizó de forma subjetiva, tomando en cuenta los parámetros de necesidades y frecuencias de uso, indicados a continuación:



**Figura 19.** Diagrama de relaciones para los ambientes.

**c. Requerimiento de maquinaria**

Con fines de optimizar recursos y mayor eficiencia de trabajo se plantea maquinaria para los trabajos de pesaje, trituración de materia prima, medición de temperatura y tamizado de compost, estos equipos en referencia a productos de mercado se describen a continuación:

**Balanza de plataforma.-** Será utilizada para el cálculo de proporciones utilizadas en la elaboración de las pilas de compostaje y el pesaje después del tamizado para su embolsado y posterior almacenamiento, sus características son las siguientes:

Marca : Lexus electronic scales

Modelo : XTEEL-P-060

Dimensiones : plataforma de 40 cm x 50cm x 75 cm

Capacidad : 100 kg

- **Máquina trituradora.-** Será necesario para el proceso de trituración de materiales de tamaños regular, se determinó que el proceso de

compostaje es más efectivo cuando tiene partículas pequeñas en su conformación, sus características son las siguientes:

Marca : Honda

Modelo : Chipper Jo Beau M300

Dimensiones : 177 cm x 72 cm x 123 cm

Capacidad : 3 m<sup>3</sup>/h

Diámetro max. de rama: 8 cm

- **Maquina vibro-tamizador.-** Esta máquina realiza la separación de los residuos que no se lograron degradar por completo, sus características son las siguientes:

Marca : Azlo

Modelo : JLT 00300

Dimensiones : 300 cm x 100 cm x 180 cm

Capacidad : 0.5 tn/h-2tn/h

- **Termómetro para compost.-** Es sumamente necesario para el control en el proceso de compostaje, sin embargo este termómetro será netamente para compost, ya que puede controlar la temperatura en cualquier punto del compost. sus características son las siguientes:

Marca : compos tumbler

Modelo : -10 °C a +90 °C

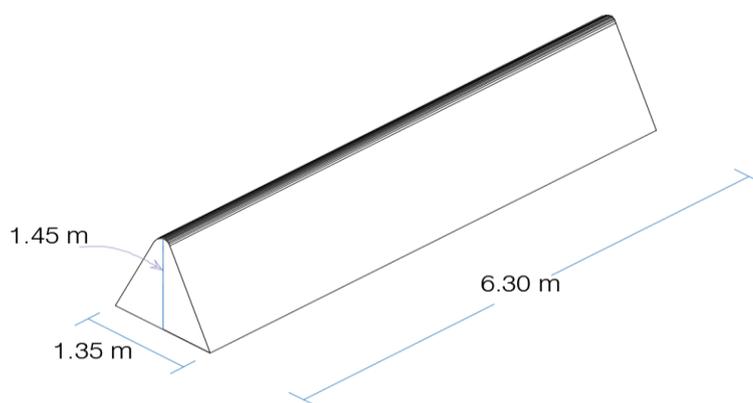
Dimensiones : 40 cm de largo

#### 4.3.4. Determinación del espacio requerido para cada área de producción

Considerando y según resultados de análisis físico-químico, se tratará la propuesta planta de tratamiento para la muestra **M3 (RSOU-EO)**, y según

producción per cápita de la población de la ciudad de Juli se tiene 3,596.80 kg/día de residuos sólidos urbanos, la materia orgánica representa el 11.92%, que sería 428.74 kg/día vale decir 144.27 TN/año de materia orgánica. El proceso de acopio de materia orgánica se realizara cada siete días que sumarian 3,001.18 kg adicionado a este 1,447.20 kg de estiércol de ovino tal como se realizó el trabajo en campo de esta investigación, haciendo un total de 4,448.3 kg que en volumen representa 6.1 m<sup>3</sup> de material a compostar.

El tipo de formación de pila será tipo triangular con dimensiones de 1.35 m de ancho por 1.45 m de alto por 6.30 m de longitud para cada 7 días de recolección de materia orgánica.



**Figura 20.** Dimensiones de la pila a Compostar

Según los datos experimentales el proceso de compostaje en la muestra M3 sería de un aproximado de 90 días, es decir que durante esta cantidad de días el material a compostar permanecerá en la planta de tratamiento.

La materia orgánica total a compostar en 90 días será 57,192.90 kg representado en volumen 79 m<sup>3</sup>.

Al finalizar la estancia de 95 días en las hileras, podemos adoptar como valor suficientemente sancionado por la experiencia en el tratamiento de este tipo de materia orgánica, un 30 % de reducción en peso y un 30% de reducción en volumen. En estas condiciones, la cantidad de compost que pasaría al afino sería:

- Cantidad de mezcla a la entrada: 213.90 TN/ año.
- Cantidad de compost a la salida: 69.60 TN/ año.
- Volumen de mezcla a la entrada: 321.40 m<sup>3</sup>/año.
- Volumen de compost a la salida: 69.585 m<sup>3</sup>/año

Mediante el proceso del afino se consigue recuperar parte del estructurante, una vez que ya ha cumplido con su función durante la etapa de fermentación. Debido a las altas tasas de aportación de estructurante para conseguir una textura adecuada de las pilas, es de gran interés sobre todo económico recuperar este material que puede llevar en algunos de los casos asociado un costo de adquisición, cuando no se pueda disponer de suficiente cantidad de restos de poda.

El tiempo de maduración adoptado es de 30 días. Se selecciona como sistema de maduración el compostaje en hileras volteadas con pala manual. El volteado de las hileras es el que nos permite mantener la correcta aireación de las parvas de forma que el proceso se mantenga dentro de un funcionamiento aerobio. La frecuencia de volteo y su número durante el proceso depende de la composición y del contenido de humedad del producto a fermentar, así como de las condiciones climatológicas que den durante esta fase, ya que la planta dispondrá de cubierta superior pero no

lateral, por consiguiente las variaciones de humedad de las pilas estarán directamente relacionadas con la humedad, temperatura y corrientes de aire que se den en el exterior.

A continuación en la tabla 4.19 se muestra el área necesaria de recepción, pesaje y almacenamiento.

**Tabla 4.19.** Área de recepción, pesaje y almacenamiento de materia prima

Área para:	Largo (m)	Ancho (m)	Altura (m)	Ss (m <sup>2</sup> )	N	Sg (m <sup>2</sup> )	Ss+Sg (m <sup>2</sup> )	K	Se (m <sup>2</sup> )	n	St (m <sup>2</sup> )
Espacio de almacenaje	5.8	1.35	1.45	7.83	4	31.32	39.15	0.83	32.30	1.00	71.45
Balanza de plataforma	0.4	0.5	0.75	0.2	4	0.8	1	0.83	0.83	1.00	1.83
Escritorio de apuntes	1.8	0.85	0.8	1.53	2	3.06	4.59	0.83	3.79	1.00	8.38
<b>Área total requerida (m<sup>2</sup>)</b>											<b>81.65</b>

En la tabla anterior el área total requerida es de 85 m<sup>2</sup>, esta área contendrá una balanza de plataforma, espacio de almacenaje y escritorios de apuntes.

El área necesaria será **85 m<sup>2</sup>**.

Ss = superficie estática (m<sup>2</sup>)

Sg = superficie de gravitación (m<sup>2</sup>)

Se = superficie de evolución (m<sup>2</sup>)

St = suma de Ss, Sg y Se (m<sup>2</sup>)

A continuación en la tabla 4.20 se muestra el área necesaria de trituración de materia orgánica.

**Tabla 4.20.** Área de trituración de materia orgánica

Área para:	Largo (m)	Ancho (m)	Altura (m)	Ss (m <sup>2</sup> )	N	Sg (m <sup>2</sup> )	Ss+Sg (m <sup>2</sup> )	K	Se (m <sup>2</sup> )	n	St (m <sup>2</sup> )
Espacio de recepción del material	5.8	1.35	1.45	7.83	4	31.32	39.15	0.59	23.07	1.00	62.22
Máquina trituradora	1.7	0.75	1.35	1.275	4	5.1	6.375	0.59	3.76	1.00	10.13
<b>Área total requerida (m<sup>2</sup>)</b>											<b>72.35</b>

En la tabla anterior el área total requerida es de 75 m<sup>2</sup>, esta área contendrá una máquina trituradora, espacio de recepción del material proveniente de la ciudad de Juli.

El área necesaria será **75 m<sup>2</sup>**.

Ss = superficie estática (m<sup>2</sup>)

Sg = superficie de gravitación (m<sup>2</sup>)

Se = superficie de evolución (m<sup>2</sup>)

St = suma de Ss, Sg y Se (m<sup>2</sup>)

A continuación en la tabla 4.21 se muestra el área necesaria de deshidratación de materia orgánica.

**Tabla 4.21.** Área de deshidratación de materia orgánica

Área para:	Largo (m)	Ancho (m)	Altura (m)	Ss (m <sup>2</sup> )	N	Sg (m <sup>2</sup> )	Ss+Sg (m <sup>2</sup> )	K	Se (m <sup>2</sup> )	n	St (m <sup>2</sup> )
Espacio de deshidratación	1.5	1.5	0.2	2.25	2	4.5	6.75	4.13	27.84	6.0	207.56
<b>Área total requerida (m<sup>2</sup>)</b>											<b>207.56</b>

En la tabla anterior el área total requerida es de 210 m<sup>2</sup>, conforma el espacio de deshidratación de material orgánico proveniente de la ciudad,

tendrá que ser amplio por motivos que el material orgánico al llegar a las instalaciones abarca mayor volumen de espacio y con el paso de los días disminuye su volumen.

El área necesaria será **210 m<sup>2</sup>**.

Ss = superficie estática (m<sup>2</sup>)

Sg = superficie de gravitación (m<sup>2</sup>)

Se = superficie de evolución (m<sup>2</sup>)

St = suma de Ss, Sg y Se (m<sup>2</sup>)

A continuación en la tabla 4.22 se muestra el área necesaria de compostaje.

**Tabla 4.22. Área de compostaje**

Área para:	Largo (m)	Ancho (m)	Altura (m)	Ss (m <sup>2</sup> )	N	Sg (m <sup>2</sup> )	Ss+Sg (m <sup>2</sup> )	K	Se (m <sup>2</sup> )	n	St (m <sup>2</sup> )
Compostaje	5.8	1.35	1.45	7.83	4	31.32	39.15	0.57	22.28	16	982.8
<b>Área total requerida (m<sup>2</sup>)</b>											<b>982.80</b>

En la tabla anterior el área necesaria es de 100 m<sup>2</sup>, será necesario para el proceso de compostaje, es el ambiente con mayor dimensión debido a que el material orgánico permanecerá mayor tiempo en él, se ha elegido realizar el compost con residuos sólidos orgánico urbanos con adición de estiércol de ovino, el cual tiene una duración de proceso de compostaje de 3 meses.

El área necesaria será **1000 m<sup>2</sup>**.

Ss = superficie estática (m<sup>2</sup>)

Sg = superficie de gravitación (m<sup>2</sup>)

Se = superficie de evolución (m<sup>2</sup>)

St = suma de Ss, Sg y Se (m<sup>2</sup>)

A continuación en la tabla 4.23 se muestra el área necesaria de tamizado.

**Tabla 4.23.** *Área de tamizado*

Área para:	Largo (m)	Ancho (m)	Altura (m)	Ss (m <sup>2</sup> )	N	Sg (m <sup>2</sup> )	Ss+Sg (m <sup>2</sup> )	K	Se (m <sup>2</sup> )	n	St (m <sup>2</sup> )
Maquina vibrotamizadora	3	1	1.8	3	4	12	15	0.46	6.88	1.00	21.88
<b>Área total requerida (m<sup>2</sup>)</b>											<b>21.88</b>

En la tabla anterior el área necesaria es de 25 m<sup>2</sup>, contendrá una maquina vibro tamizadora utilizada posterior a la maduración de compost, esta máquina será de mucha importancia porque le dará una pureza y homogeneidad al compost.

El área necesaria será **25 m<sup>2</sup>**.

Ss = superficie estática (m<sup>2</sup>)

Sg = superficie de gravitación (m<sup>2</sup>)

Se = superficie de evolución (m<sup>2</sup>)

St = suma de Ss, Sg y Se (m<sup>2</sup>)

A continuación en la tabla 4.24 se muestra el área necesaria de pesaje y embolsado.

**Tabla 4.24.** *Área de pesaje y embolsado*

Área para:	Largo (m)	Ancho (m)	Altura (m)	Ss (m <sup>2</sup> )	N	Sg (m <sup>2</sup> )	Ss+Sg (m <sup>2</sup> )	K	Se (m <sup>2</sup> )	n	St (m <sup>2</sup> )
Espacio para el embolsado	3	1	1	3	4	12	15	0.88	13.13	1.00	28.13
Balanza de plataforma	0.4	0.5	0.75	0.2	4	0.8	1	0.94	0.94	1.00	1.94
<b>Área total requerida (m<sup>2</sup>)</b>											<b>30.07</b>

En la tabla anterior el área necesaria es de 30 m<sup>2</sup>, contendrá un balanza de plataforma y posterior a ello el embolsado del compost.

El área necesaria será **30 m<sup>2</sup>**.

Ss = superficie estática (m<sup>2</sup>)

Sg = superficie de gravitación (m<sup>2</sup>)

Se = superficie de evolución (m<sup>2</sup>)

St = suma de Ss, Sg y Se (m<sup>2</sup>)

A continuación en la tabla 4.25 se muestra el área necesaria de almacén de producto terminado.

**Tabla 4.25.** *Área de almacén de producto terminado*

Área para:	Largo (m)	Ancho (m)	Altura (m)	Ss (m <sup>2</sup> )	N	Sg (m <sup>2</sup> )	Ss+Sg (m <sup>2</sup> )	K	Se (m <sup>2</sup> )	n	St (m <sup>2</sup> )
Almacén de producto terminado	2	0.8	1	1.6	4	6.4	8	1.00	8.00	1.00	16.00
<b>Área total requerida (m<sup>2</sup>)</b>											<b>16.00</b>

En la tabla anterior el área necesaria es de 16 m<sup>2</sup>, en él se almacenara el producto terminado listo para su uso y comercialización al pueblo.

El área necesario será **16.00 m<sup>2</sup>**.

Ss = superficie estática (m<sup>2</sup>)

Sg = superficie de gravitación (m<sup>2</sup>)

Se = superficie de evolución (m<sup>2</sup>)

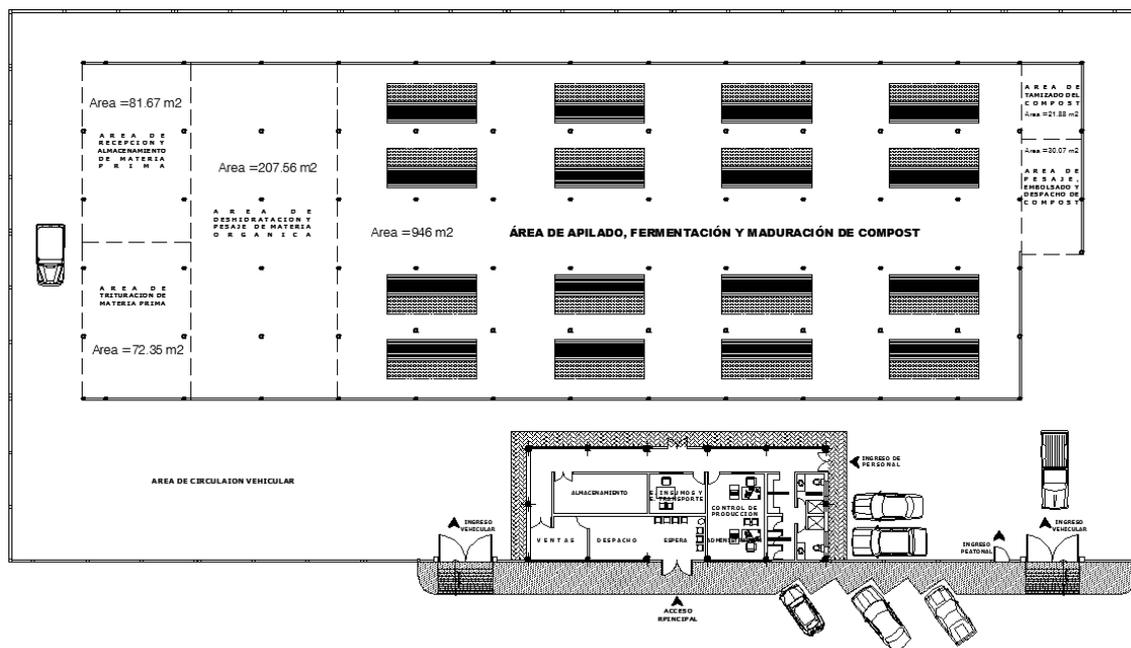
St = suma de Ss, Sg y Se (m<sup>2</sup>)

### 4.3.5. Idea de diseño

El block layout de la planta se ilustra en la siguiente figura, más adelante se hará una descripción del block layout detallado.

#### 4.3.5.1. Distribución de layout general de la planta

Con la ayuda de las tablas de interrelaciones, ambientes necesarios y Tabla de flujos se ha planteado el layout que se aprecia a continuación:



**Figura 21.** Distribución de ambientes de la planta de compostaje.

El layout detallado tiene como objetivo dar a conocer la ubicación correcta de los diferentes equipos o puestos de trabajo para minimizar recorrido del producto y del personal que labora en planta, con el resultante aumento en la agilidad del operario, reducción de tiempos y ergonomía necesaria para realizar la labor diaria con mayor altivez.

Los departamentos o áreas comprendidos dentro de este análisis van desde el área administrativa, el área de producción, casilleros y vestidores de los operarios.

## CONCLUSIONES

- Se propone una planta de tratamiento de obtención de compost a partir de los residuos sólidos orgánicos urbanos en la ciudad de Juli.
- La ciudad de Juli produce 3597 kg de residuos sólidos urbanos anuales, de los cuales 428 kg material orgánico y 3170 kg material inorgánico.
- La ciudad de Juli tiene una producción per cápita de 0.4 kg/hab/día de residuos sólidos urbanos.
- En promedio la producción de residuos sólidos urbanos en la ciudad de Juli en la zona alta, media y baja se dividen en 11.9 % de residuos sólidos orgánicos y 88.10 % de residuos sólidos inorgánicos.
- El material orgánico que tiene mayor porcentaje en la zona alta, media y baja es la cascara de papa cruda en 15.3 %, seguido de cascara de papa cocida en 6.5 % y cascara de chuño en 6.5 %.
- Los resultados físico-químico en las tres muestras de compost obtenido, comparado con lo establecido por CONAM y la Norma chilena oficial – NCh 2880.Of 2004 para compost, cumplen con los parámetros establecidos
- La adición de estiércol a los residuos sólidos orgánicos urbanos en la obtención de compost, influye en el tiempo de compostaje porque facilita la colonización de microorganismos, para la rápida degradación de la materia orgánica fresca, La pila con adición de estiércol de ovino es el de mejor calidad y en un tiempo de 90 días.
- La propuesta diseño de una planta de tratamiento para elaboración de compost varía de acuerdo al método que se aplique, en nuestro caso es pilas con volteo o método aerobio.

- Para el método aplicado y con referencia a la cantidad de materia orgánica producida se requiere un área de 1438 m<sup>2</sup>, conformada por área de recepción de materia prima, trituración de materia prima, deshidratación de materia orgánica, apilado, biodegradación y maduración de compost, tamizado y pesaje de compost, embolsado y despacho de compost, finalmente almacenamiento de compost.
- Con la propuesta planta de tratamiento para el aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos urbanos en el distrito de Juli, se llegara a tratar 213.90 tn/año de material orgánico urbano, teniendo como producto final 69.60 tn/año de compost orgánico.

### RECOMENDACIONES

- Utilizar el compost que se ha obtenido en la planta de tratamiento en cultivos de agronomía masiva y determinar el rendimiento, eficacia.
- Se recomienda realizar trabajos de investigación para la obtención de compost con residuos sólidos orgánicos urbanos y adición de microorganismos eficaces en la ciudad de Juli.
- Dado la creciente contaminación, el cambio climático, es conveniente realizar proyectos de capacitación a la población de Juli con fines de aplicar la planta de tratamiento propuesto; un trabajo por parte de la municipalidad distrital a los trabajadores encargados de la recolección, a la población en cuanto a la clasificación de residuos sólidos orgánicos e inorgánicos desde sus hogares y al poblador rural en cuanto al uso del estiércol que aplican en sus cultivos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- APROLAB, 2007, *Manual para la producción de Compost con microorganismos eficaces*. Recuperado de [http://www.em-la.com/archivos-de-usuario/base\\_datos/manual\\_para\\_elaboracion\\_de\\_compost.pdf](http://www.em-la.com/archivos-de-usuario/base_datos/manual_para_elaboracion_de_compost.pdf)
- Alcas, C., Casquino, D., Silva, M. 2005, *Caracterización de residuos sólidos domiciliarios en los distritos de Ica, los Aquijes, Parcona y Subtanjalla (Provincia de Ica), para el aprovechamiento de los residuos sólidos tipo plástico PET y tipo orgánico*. Edit. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, PE. 58 p.
- Altamirano, M., Cabrera, C. 2006, *Estudio comparativo para la elaboración de compost por técnica manual*. Instituto de Investigaciones FIGMMG Vol 9, N°17, 75-84 UNMSM. Lima, PE. 25 p.
- Burton, C., Turner, C. 2003, *Estrategias de Tratamiento para la agricultura Sostenible*. Instituto Buenas Americas. Madrid, ES. 450 p.
- Cid Salvador. 2005. *Los nutrientes en el compost*. Madrid, ES. 120 p.
- Comando, S., Antonio, I. 2006, *Optimización del Compostaje de residuos sólidos urbanos en proceso de serie aerobio-anaerobio*. Tesis Doctoral. Madrid, ES. 140 p.
- Corona, A. 2007, *Efecto de dos formas de descomposición y tres tipos de estiércol en la calidad del compost Agrícola*. San Cristóbal, República Dominicana, RD. 86 p.
- Cronje, A., Turner, C., Williams, A. 2003, *Compostaje bajo condiciones controladas*. *Environmental technology*, 24 p.

- CONAM, *guia tecnica para la formulacion e implementacion de planes de minimizacion y reaprovechamiento de residuos solidos en el nivel municipal*. Lima, PE, 100 p.
- Fuentes Romero, J. A. 2005, *El compostaje y el Compost*. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Villahermosa - Mexico, MX, 12p.
- Guerrero, J. 1993, *Abonos Organicos:Tecnologia para el mejoramiento del suelo. Red de accion Alternativa al uso de agroquimicos (RAAA)*. Lima, PE.226 p.
- Haug R.T. 1993. *El manual práctico de la ingeniería del compost*. (Lewis publishers). Washington, EEUU. 752 p.
- Helynen, S. 2004. *Panorama general de las políticas y directivas europeas destinadas a promover la energía a partir de la biomasa de madera*. Madrid, ES. 115p.
- Holgado, A., Columela, L. J. M. 1988. *De los trabajos de campo. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentacion (Edicion Si)*. Madrid, ES. 32 p
- Leconte, M. C., Vazquez, S., Iglesias, M. C. 2003. *Influencia del porcentaje de estiércol vacuno en el pH de compost de residuos Industriales*. Buenos Aires, AR. 65 p
- LEY N° 27314-2000. EL PERUANO 2000. Diario el Peruano. Lima, PE 140 p
- Lopez Vega, M. E., Fabelo Falcon, J. A. 2006. *Investigacion "Obtencion de Compost Usando la fraccion Organica de los Residuos Solidos Urbanos en la Universidad Central "Marta Habreu. Las Villas,,C. 55 p.*
- Istituto Nacional de Estadistica e Informatica 2007, 2013*. Puno, PE. 55 p

- Manrique P. 2006. *“Complejo de Hospedaje Recreacional Chucuito” Tesis de la Universidad Nacional del Altiplano. Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura. Puno, PE. 135 p.*
- Marcote, I., Hernandez, T., Garcia, C. Polo, A. 2001. *Influencia de una o dos soluciones sucesivas anuales de fertilizantes orgánicos en la actividad enzima de un suelo bajo cultivo de cebada.* Mexico, MX. 84 p.
- Martinez, M., Miglierina, A. M., Luna, M., Konijnenburg Van, A., Pellejero, G. 2008. *“Evaluacion del Compostaje de los Residuos del procesamiento de la cebolla”.*Buenos Aires, AR. 65 p.
- Martinez R., 1991. *Investigación aplicada al diseño arquitectónico.* México, MX. 132p.
- Mischke R., 1971. *Introduccion al Diseño Auxiliador por Computadoras.* E. Programex. Mexico, MX. 95 p.
- Monge, G., Wharwood, G., 1993. *Compostificacion de residuos de Mercado (SMILL-CE).* Washington, EEUU. 67 p.
- Municipalidad Provincial Chucuito Juli, 2013. *Estudio de caracterizacion de los residuos solidos del area urbana del distrito de Juli.* Juli, PE. 55 p.
- Nakasaki, K., Nag, K., Karina, S. 2005. *Sucesión microbiana asociada a la descomposición de la materia orgánica durante la composición termófila de residuos orgánicos.* Madrid, ES. 89 p.
- Pineda, R. 1994. *Lombricultura C.I.P.C.A. ediciones graficas.* Piura, PE. 67 p.

- Pravia, M. A., Sztern, D. 1999. Manual para elaboracion de compost. Montevideo, UR. 160 p.
- Rihm Silva A. 2004. *Manejo de Resíduos Sólidos, Apuntes de curso de residuos sólidos, USACH*. Santiago, CH. 125p.
- Röben E. 2002. Manual de Compostaje para Municipios. Loja, EC. 75 p.
- Rodriguez salinas, M. A., Cordova, A., Vasquez. 2006. *Manual de Compostaje Municipal, Tratamiento de Residuos solidos Urbanos*. Mexico, MX. 140 p.
- Ruiz Rios, A., Montes Mallqui, I. J., Flores Castillo, E. E. 2006. Manual:Elaboracion de Compost. Lima, PE. 130 p.
- Sanchez Monedero, M. A., Mondini, C., de Nobili, M., Leita, L., Roig, A. 2004. *Aplicación de tierras de biosólidos. Respuesta del suelo a diferentes grados de estabilización de la materia orgánica tratada*.
- Sztern, D., Prava, M., 1999. Manual para la elaboracion de compost. Bases conceptuales y procedimientos Organización panamericana de la salud.Organizacion mundial de la salud. Montevideo, UR. 80 p.

## ANEXOS

Anexo 1. *Dinámica de la temperatura en la pila de compostaje de residuos sólidos orgánicos urbanos con adición de estiércol de gallina – M1*

DIA	fecha	T.amb b (°c)	T1 (° C)	T2 (° C)	T3 (° C)	T PROM. (° C)	DIA	fecha	T.amb b (°c)	T1 (° C)	T2 (° C)	T3 (° C)	T PROM. (° C)
1	01/02/2014	17	17	17	17	17.0	40	12/03/2014	17.8	12.4	14.8	14.8	14.0
2	02/02/2014	16.4	33.9	35.4	33.8	34.4	41	13/03/2014	16.1	12.9	15.5	15.7	14.7
3	03/02/2014	17.8	36.6	38.1	37	37.2	42	14/03/2014	16.2	11.6	14.2	15.4	13.7
4	04/02/2014	17.7	34.4	41.1	37.1	37.5	43	15/03/2014	18.2	16.4	19.2	17.8	17.8
5	05/02/2014	14.8	47.1	50.9	43.4	47.1	44	16/03/2014	14	16	19.3	18.3	17.9
6	06/02/2014	18.1	37.4	52.7	41.4	43.8	45	17/03/2014	13	14.8	18.9	19.9	17.9
7	07/02/2014	15.1	63.4	61.2	60.3	61.6	46	18/03/2014	16.8	14.3	18.8	20.6	17.9
8	08/02/2014	15.4	56.4	58.3	58.4	57.7	47	19/03/2014	16.8	15.8	18.1	18.6	17.5
9	09/02/2014	14.2	58.7	60.9	58.8	59.5	48	20/03/2014	17.3	16.7	18.9	18.4	18.0
10	10/02/2014	16.4	55.5	61	57.3	57.9	49	21/03/2014	14.4	13.8	16.4	16.5	15.6
11	11/02/2014	13.4	45.2	52.5	49.5	49.1	50	22/03/2014	17.2	13.3	14.2	14.8	14.1
12	12/02/2014	14.9	41.2	59.8	42.7	47.9	51	23/03/2014	14.5	10.8	12.7	12.6	12.0
13	13/02/2014	13.8	53	61.8	51.6	55.5	52	24/03/2014	17.4	11.3	12.3	12.2	11.9
14	14/02/2014	13.7	33.9	41.9	33.4	36.4	53	25/03/2014	18	12.4	15	15	14.1
15	15/02/2014	15.7	26.5	32.8	28.2	29.2	54	26/03/2014	19.1	15	19.6	18.1	17.6
16	16/02/2014	14.6	30.5	41.3	30.6	34.1	55	27/03/2014	17.8	13.2	15.4	15.5	14.7
17	17/02/2014	13	26.4	39.9	27.3	31.2	56	28/03/2014	14.1	14.8	16.6	15.9	15.8
18	18/02/2014	18.4	28.6	33.8	29.2	30.5	57	29/03/2014	16.5	16.5	18.8	19.6	18.3
19	19/02/2014	15	17.8	21.1	17.4	18.8	58	30/03/2014	18.6	14.4	19	18.1	17.2
20	20/02/2014	14.6	13.2	14.2	13.4	13.6	59	31/03/2014	15.6	13.1	16.5	15.8	15.1
21	21/02/2014	3.9	11.4	10.3	10.7	10.8	60	01/04/2014	14.5	13.3	15.7	15.4	14.8
22	22/02/2014	7.9	16.3	18.6	16.5	17.1	61	02/04/2014	14.6	14.6	17.2	16.8	16.2
23	23/02/2014	9.8	20.1	28	22.7	23.6	62	03/04/2014	15.1	15	18.4	14.4	15.9
24	24/02/2014	10	28.4	34.8	29.8	31.0	63	04/04/2014	12.1	12.8	14.8	18.1	15.2
25	25/02/2014	12	28.7	36.1	27.9	30.9	64	05/04/2014	19.5	14.5	18.4	15.8	16.2
26	26/02/2014	13.8	19.1	23.1	20.2	20.8	65	07/04/2014	16.7	14.8	16	16.1	15.6
27	27/02/2014	12.5	18.5	24.5	20	21.0	66	09/04/2014	18	15.2	15.5	11	13.9
28	28/02/2014	14.1	16.2	21.2	17.2	18.2	67	11/04/2014	15.8	10.4	11.1	16.7	12.7
29	01/03/2014	14.9	14.1	16.6	13.9	14.9	68	14/04/2014	19.7	12.8	15	13.5	13.8
30	02/03/2014	14.2	14.2	15.7	15.5	15.1	69	16/04/2014	16	12.1	13.6	16.9	14.2
31	03/03/2014	14.5	13.9	15.1	15	14.7	70	19/04/2014	18	16	17	16.3	16.4
32	04/03/2014	13.2	15.6	17.7	16	16.4	71	22/04/2014	17.5	15.5	16.2	16.1	15.9
33	05/03/2014	16.3	19.3	27.3	28.5	25.0	72	26/04/2014	18.6	13.6	15.4	16	15.0
34	06/03/2014	16.2	23.2	30.8	28.2	27.4	73	30/04/2014	16.9	13.7	15.8	15.8	15.1
35	07/03/2014	17	15.2	21.9	21.2	19.4	74	02/05/2014	19.3	13.4	15.2	17.2	15.3
36	08/03/2014	17.7	16.3	19.8	20.2	18.8	75	06/05/2014	19.7	13.9	16.3	14	14.7
37	09/03/2014	17	13.5	17.2	17.2	16.0	76	10/05/2014	16.2	13.8	14.5	15	14.4
38	10/03/2014	16.8	14.8	16.7	17.1	16.2	77	12/05/2014	13.6	13.6	14.6	18.4	15.5
39	11/03/2014	15.8	11.6	15.5	16.5	14.5	78	15/05/2014	17.1	17.2	17	18.4	17.5

T.amb.=temperatura ambiente  
 T1=temperatura 1  
 T2=temperatura 2  
 T3=temperatura 3  
 T.PROM.=temperatura promedio

Anexo 2. Dinámica de la temperatura en la pila de compostaje de residuos sólidos orgánicos urbanos con adición de estiércol de vacuno – m2

DIA	FECHA	T.a mb (°c)	T1 (° C)	T2 (° C)	T3 (° C)	T PROM. (° C)	DIA	FECHA	T.a mb (°c)	T1 (° C)	T2 (° C)	T3 (° C)	T PROM. (° C)
1	01/02/2014	17.7	17.7	17.7	17.7	17.7	40	12/03/2014	18.2	16	19.4	18.8	18.1
2	02/02/2014	14.8	29.7	33.3	30.5	31.2	41	13/03/2014	14	18.1	23.1	22.3	21.2
3	03/02/2014	18.1	50.5	50.6	50.2	50.4	42	14/03/2014	13	19.8	24.3	24	22.7
4	04/02/2014	15.1	56	54.5	52.6	54.4	43	15/03/2014	16.8	18	22.6	22.2	20.9
5	05/02/2014	15.4	60.7	57.9	55.9	58.2	44	16/03/2014	16.8	18.2	23.8	22.5	21.5
6	06/02/2014	14.2	48.8	45.5	48.3	47.5	45	17/03/2014	17.3	18.7	23.7	23.1	21.8
7	07/02/2014	16.4	55.1	56.8	56.2	56.0	46	18/03/2014	14.4	18.4	23.6	22.5	21.5
8	08/02/2014	13.4	45.2	52.5	49.5	49.1	47	19/03/2014	17.2	17.1	20.4	20.4	19.3
9	09/02/2014	14.9	54.3	55.8	52.5	54.2	48	20/03/2014	14.5	15.3	19	16.6	17.0
10	10/02/2014	13.8	49.2	52.8	53.5	51.8	49	21/03/2014	17.4	13.3	15	14.7	14.3
11	11/02/2014	13.7	42.2	49.3	42.6	44.7	50	22/03/2014	18	15.1	16.8	16.8	16.2
12	12/02/2014	15.7	34.6	42.2	38	38.3	51	23/03/2014	19.1	15.1	17.5	16.8	16.5
13	13/02/2014	14.6	50.3	51.4	49.9	50.5	52	24/03/2014	17.8	15.2	18	18.1	17.1
14	14/02/2014	13	50.1	52	51.2	51.1	53	25/03/2014	14.1	15.1	18.6	18.1	17.3
15	15/02/2014	18.4	44.4	48.7	48.8	47.3	54	26/03/2014	16.5	17.7	20.1	19.1	19.0
16	16/02/2014	15	40.9	44.1	43.8	42.9	55	27/03/2014	18.6	18.2	21.2	21.1	20.2
17	17/02/2014	14	43.8	67.3	68.2	59.8	56	28/03/2014	15.6	18.7	22.1	21.4	20.7
18	18/02/2014	3.9	52.7	56	54.1	54.3	57	29/03/2014	14.5	17.8	22.2	20	20.0
19	19/02/2014	7.9	51.1	52.4	52.6	52.0	58	30/03/2014	14.6	19	22.4	20.9	20.8
20	20/02/2014	9.8	44.6	50.4	49.1	48.0	59	31/03/2014	15.1	18.1	23.6	23	21.6
21	21/02/2014	10	39.5	47.6	42.2	43.1	60	01/04/2014	12.1	17.2	23.4	20.2	20.3
22	22/02/2014	12	37.5	47.3	41.4	42.1	61	02/04/2014	19.5	14.3	19.2	19.1	17.5
23	23/02/2014	13.8	33.4	35.6	33.6	34.2	62	03/04/2014	16.7	17	20.2	19.1	18.8
24	24/02/2014	12.5	37.8	50.2	41.4	43.1	63	05/04/2014	18	17.2	18.4	17.3	17.6
25	25/02/2014	14.1	36.2	51.7	41	43.0	64	06/04/2014	15.8	14.3	16.9	15.2	15.5
26	26/02/2014	14.9	32.8	39.8	31.8	34.8	65	09/04/2014	19.7	15.4	17.3	16.9	16.5
27	27/02/2014	14.2	25.3	27.6	26.1	26.3	66	11/04/2014	16	14.3	18	17.9	16.7
28	28/02/2014	14.5	18.2	19.8	18.3	18.8	67	15/04/2014	18	16.5	19.9	19.8	18.7
29	01/03/2014	13.2	15.9	17.5	17.3	16.9	68	18/04/2014	17.5	17.2	19.3	20.1	18.9
30	02/03/2014	16.3	20	24.8	23.4	22.7	69	20/04/2014	18.6	15.4	18.8	19.4	17.9
31	03/03/2014	16.2	21.3	29.1	29	26.5	70	23/04/2014	16.9	17.5	19.5	19.7	18.9
32	04/03/2014	17	20.7	31	24.5	25.4	71	26/04/2014	19.3	16.7	18	18.3	17.7
33	05/03/2014	17.7	19.2	28.3	26	24.5	72	30/04/2014	19.7	17.8	19	18.7	18.5
34	06/03/2014	17	17.2	25.1	23.4	21.9	73	02/05/2014	16.2	17.3	19.3	18.1	18.2
35	07/03/2014	16.8	16.8	22.3	21.4	20.2	74	04/05/2014	13.6	15.8	18.2	18	17.3
36	08/03/2014	15.8	15.3	19.8	19.7	18.3	75	05/05/2014	17.1	18.8	19.7	19.4	19.3
37	09/03/2014	17.8	13.8	18.6	18.9	17.1							
38	10/03/2014	16.1	14.7	18	17.4	16.7							
39	11/03/2014	16.2	13.9	17.2	16.6	15.9							

T.amb.=temperatura ambiente  
 T1=temperatura 1  
 T2=temperatura 2  
 T3=temperatura 3  
 T.PROM.=temperatura promedio

Anexo 3. Dinámica de la temperatura en la pila de compostaje de residuos sólidos orgánicos urbanos con adición de estiércol de ovino: m3 (rsou - eo)

DIA	FECHA	T.a mb (°c)	T1 (° C)	T2 (° C)	T3 (° C)	T PROM . (° C)	DIA	FECHA	T.a mb (°c)	T1 (° C)	T2 (° C)	T3 (° C)	T PROM . (° C)
1	01/02/2014	15.4	15.4	15.4	15.4	15.4	40	12/03/2014	16.8	23.6	31.4	30.3	28.4
2	02/02/2014	14.2	48.7	48.6	48.8	48.7	41	13/03/2014	17.3	24.8	30	28.7	27.8
3	03/02/2014	16.4	60	60.1	60.9	60.3	42	14/03/2014	14.4	21.2	29.3	25.2	25.2
4	04/02/2014	13.4	60.6	55.8	58.2	58.2	43	15/03/2014	17.2	18.8	23.9	21.1	21.3
5	05/02/2014	14.9	48.8	52.1	49.7	50.2	44	16/03/2014	14.5	16.2	21.9	19.3	19.1
6	06/02/2014	13.8	50.1	55.6	53.5	53.1	45	17/03/2014	17.4	15.7	17.9	17.1	16.9
7	07/02/2014	13.7	49.6	51.5	49.7	50.3	46	18/03/2014	18	17.3	20.1	21.6	19.7
8	08/02/2014	15.7	40.7	46.2	43.3	43.4	47	19/03/2014	19.1	17.2	22	20.9	20.0
9	09/02/2014	14.6	53.1	54.8	53.6	53.8	48	20/03/2014	17.8	17.4	22.8	21.7	20.6
10	10/02/2014	13	53.9	54.4	54.3	54.2	49	21/03/2014	14.1	19.4	23.3	22.3	21.7
11	11/02/2014	18.4	49.1	53.3	51.9	51.4	50	22/03/2014	16.5	20.6	24.7	24.8	23.4
12	12/02/2014	15	45.4	50.3	47.8	47.8	51	23/03/2014	18.6	18.8	25.7	24.3	22.9
13	13/02/2014	14.6	66.2	68.8	67.6	67.5	52	24/03/2014	15.6	18.3	24.9	23.5	22.2
14	14/02/2014	3.9	54.8	55.3	55.3	55.1	53	25/03/2014	14.5	20.1	24.1	22.2	22.1
15	15/02/2014	7.9	52.6	53.3	53.2	53.0	54	26/03/2014	14.6	20.2	24	21.4	21.9
16	16/02/2014	9.8	45.4	51	47.2	47.9	55	27/03/2014	15.1	19.8	25.2	24.7	23.2
17	17/02/2014	10	41.8	48	44.3	44.7	56	28/03/2014	12.1	17.6	23.9	21.7	21.1
18	18/02/2014	12	37	50.1	43.8	43.6	57	29/03/2014	19.5	14.8	19.6	19.2	17.9
19	19/02/2014	13.8	42.5	48	44.7	45.1	58	30/03/2014	16.7	16	18.3	18.1	17.5
20	20/02/2014	12.5	46.3	55.9	52	51.4	59	02/04/2014	18	16.3	17.4	17.3	17.0
21	21/02/2014	14.1	41.6	58.2	48.4	49.4	60	06/04/2014	15.8	13.3	16.1	15.5	15.0
22	22/02/2014	14.9	34.5	55.1	42.7	44.1	61	09/04/2014	19.7	15.1	17.1	16.8	16.3
23	23/02/2014	14.2	27.8	42.3	32.9	34.3	62	11/04/2014	16	14.5	17.6	17	16.4
24	24/02/2014	14.5	21.5	29	15.4	22.0	63	15/04/2014	18	16.9	19.3	18.6	18.3
25	25/02/2014	13.2	16	20	19.1	18.4	64	18/04/2014	17.5	17.4	18.8	19.5	18.6
26	26/02/2014	16.3	25.1	33	30.8	29.6	65	20/04/2014	18.6	15.8	18	18.4	17.4
27	27/02/2014	16.2	28.3	44.7	38.9	37.3	66	23/04/2014	16.9	18.4	18.6	18.5	18.5
28	28/02/2014	17	32.8	47.3	41.2	40.4	67	26/04/2014	19.3	16.3	17.3	17.2	16.9
29	01/03/2014	17.7	28.6	45	37.1	36.9	68	28/04/2014	19.7	16.5	19.5	18.8	18.3
30	02/03/2014	17	25	37.3	30.7	31.0	69	29/04/2014	16.2	17.2	18.8	17.9	18.0
31	03/03/2014	16.8	19.2	30.5	25.8	25.2	70	30/04/2014	13.6	15.8	17.8	16.8	16.8
32	04/03/2014	15.8	19.2	23	20.9	21.0	71	01/05/2014	17.1	17.2	19.2	19	18.5
33	05/03/2014	17.8	14.8	19.1	17.3	17.1							
34	06/03/2014	16.1	15.2	17.8	16.8	16.6							
35	07/03/2014	16.2	14.4	16.7	15.5	15.5							
36	08/03/2014	18.2	17.6	22.2	20.6	20.1							
37	09/03/2014	14	19.4	29.5	25.8	24.9							
38	10/03/2014	13	21.2	34.2	28.9	28.1							
39	11/03/2014	16.8	23	34	28.8	28.6							

T.amb.=temperatura ambiente  
 T1=temperatura 1  
 T2=temperatura 2  
 T3=temperatura 3  
 T.PROM.=temperatura promedio



*Imagen N°01: Se aprecia la etapa de selección de material orgánico.*



*Imagen N°02: Preparación de terreno y preparación de pilas para la obtención de Compost.*



*Imagen N°03: Formación de pilas, previo trituración de material orgánico, adición de estiércol de gallina, vacuno y ovino.*



*Imagen N°04: Conformación de pilas para la obtención de Compost.*



*Imagen N°05: Sea aprecia la muestra Numero 02 –Ovino.*



*Imagen N°06: Volteo de las pilas en este caso el de vacuno.*



**Imagen N°06:** *Control de temperatura y humedad de cada una de las pilas formadas, esto durante todo el proceso de Compostaje.*



**Imagen N°07:** *Aplicación del abono orgánico en plantas como bocaisapo y otros.*



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO – PUNO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGRÓNOMICA**  
**LABORATORIO DE AGUAS Y SUELOS**



**ANALISIS DE ABONO ORGANICO (COMPOST)**

NOMBRE : Bach. HECTOR FRANCISCO PUENTE DURAN  
 PROCEDENCIA : DISTRITO DE JULI, PROVINCIA CHUCUITO-PUNO  
 MOTIVO : Tesis  
 LABORATORIO : Aguas y Suelos de la Facultad de Ciencias Agrarias UNA - Puno  
 FECHA RECEPCION : 10/06/2014  
 FECHA : Muestreo: 10/06/2014 Análisis: 11/06/2014

**RESULTADOS DE ANALISIS DE ABONO ORGANICO (COMPOST)**

MUESTRA	CLAVE DE CAMPO	pH	C.E. dS/m	% M.O.	% C	% N	C/N	% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	% K <sub>2</sub> O
M1	Compost de residuos sólidos orgánicos urbanos con adición de estiércol de gallina (RSOU-EG)	9.10	4.30	27.90	16.03	1.22	13.14	1.89	1.61
M2	Compost de residuos sólidos orgánicos urbanos con adición de estiércol de vacuno (RSOU-EV)	9.44	6.76	36.79	21.31	1.57	13.57	2.41	2.26
M3	Compost de residuos sólidos orgánicos urbanos con adición de estiércol de ovino (RSOU-EO)	8.42	7.63	53.61	28.69	1.93	14.87	2.67	2.19

M1: Compost de residuos sólidos orgánicos urbanos con adición de estiércol de Gallina (RSOU-EG).  
 M2: Compost de residuos sólidos orgánicos urbanos con adición de estiércol de Vacuno (RSOU-EV).  
 M3: Compost de residuos sólidos orgánicos urbanos con adición de estiércol de Ovino (RSOU-EO).



**ANALISIS MICROBIOLÓGICO**

MUESTRA : Compost  
 SOLICITANTE : Bach Hector Francisco Puente Duran  
 REFERENCIA : Control de calidad microbiológica para la Tesis  
 "Propuesta planta de tratamiento de residuos sólidos orgánicos urbanos a partir de la obtención de compost en una instalación piloto para la ciudad de Juli. Chucuito- Puno.  
 ANALISIS SOLICITADO : Bacteriológico coliformes fecales  
 FECHA DE MUESTREO : 10 de junio del 2014  
 FECHA DE ANÁLISIS : 10 de junio del 2014

**RESULTADOS**

**Muestra Coliformes fecales**

M1: Compost de residuos solidos organicos urbanos  
 Con adición de estiércol de gallina (RSOU-EG) Ninguno  
 M2: Compost de residuos solidos organicos urbanos  
 Con adición de estiércol de vacuno (RSOU-EV) Ninguno  
 M3: Compost de residuos solidos organicos urbanos  
 Con adición de estiércol de ovino (RSOU-EO) Ninguno

Observacion.- Las muestras fueron recepcionadas en el laboratorio.

Puno, 13 de junio del 2014



Dr. Mg. MVZ Alberto Ccama Sulca  
 Jefe del laboratorio de Microbiología FMVZ

## PLANOS

**LAMINA PD - 01:** Planta de distribución general

**LAMINA P – 01 :** Planta de administración – elaboración de compost

**LAMINA E – 01 :** Elevaciones área administrativa

**LAMINA E – 02 :** Elevaciones área de proceso de compostaje