



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA**

**DISEÑO DEL PROCESO INDUSTRIAL PARA LA ELABORACIÓN**  
**DE UN FERTILIZANTE SÓLIDO A BASE DE POLLINAZA PARA**  
**CULTIVOS AGRÍCOLAS**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO QUÍMICO**

**AUTOR:**

**JOSÉ EDULFO AGUILAR AJILA**

Riobamba – Ecuador

2023



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA**

**DISEÑO DEL PROCESO INDUSTRIAL PARA LA ELABORACIÓN  
DE UN FERTILIZANTE SÓLIDO A BASE DE POLLINAZA PARA  
CULTIVOS AGRÍCOLAS**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO QUÍMICO**

**AUTOR: JOSÉ EDULFO AGUILAR AJILA**

**DIRECTOR: Dr. EDMUNDO RODRIGO CALUÑA SÁNCHEZ, PhD.**

Riobamba – Ecuador

2023

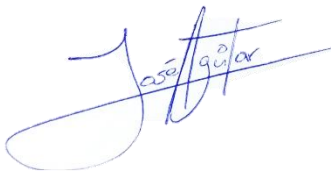
© 2023, José Edulfo Aguilar Ajila

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, José Edulfo Aguilar Ajila, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

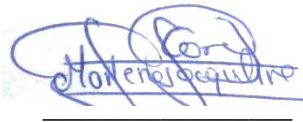
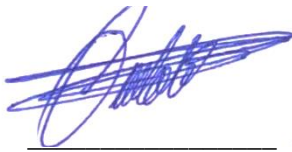

Riobamba, 23 de junio de 2023

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Jose Edulfo Aguilar', written over a horizontal line.

**José Edulfo Aguilar Ajila**  
**C.I. 070678415-4**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA**

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto Técnico, **DISEÑO DEL PROCESO INDUSTRIAL PARA LA ELABORACIÓN DE UN FERTILIZANTE SÓLIDO A BASE DE POLLINAZA PARA CULTIVOS AGRÍCOLAS**, realizado por el señor: **JOSÉ EDULFO AGUILAR AJILA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. Marlene Jacqueline García Veloz, MSc. <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>	 _____	2023-06-23
Dr. Edmundo Rodrigo Caluña Sánchez, PhD. <b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>	 _____	2023-06-23
Ing. Mayra Paola Zambrano Vinuesa, MSc. <b>ASESORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>	 _____	2023-06-23

## **DEDICATORIA**

Dedicado a Dios quien siempre ha sido el autor de mi vida y mi destino. Solo bastó la fe, así de bueno es Dios. A mi querida madre, fuente de amor, humildad y sencillez quien me educó en buenos valores, me brindó apoyo en todo momento y nunca dejó de creer en mí. A mis hermanos que han sido partícipes secundarios de este mérito, su apoyo y palabras de aliento fueron indispensables en el transcurso de mi vida académica. Así mismo honro la memoria de mi padre ya que su mayor sueño siempre fue vernos felices y exitosos. Finalmente recuerdo con nostalgia a mis amigos quienes me demostraron alegría y compañía en momentos difíciles, donde celebramos los buenos momentos y me apoyaron en los malos.

José

## AGRADECIMIENTO

Mi más sincero agradecimiento:

A Dios, por el maravilloso don de la vida y convertirse en mi refugio, guía y maestro en todo momento.

A mi tutor de tesis, Dr. Edmundo Caluña, asesora Ing. Mayra Zambrano y a la Ing. Marlene García por su excelente calidad humana y profesional, su apoyo fue sustancial para la relación de este trabajo.

A la “Escuela Superior Politécnica de Chimborazo” por una educación de calidad y por brindar las facilidades necesarias en cuanto al uso de laboratorios y espacios abiertos para la relación del trabajo de integración curricular.

A mi querida madre, hermanos y Stefany por su amor, apoyo y confianza.

A mis amigos por su continuo ¡SIGUE ADELANTE! su amistad y apoyo fue pieza fundamental de esta gran aventura.

José

## ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xvi
RESUMEN .....	xvii
ABSTRACT .....	xvii
INTRODUCCIÓN .....	1

### CAPÍTULO I

<b>1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>2</b>
<b>1.1 Planteamiento del Problema.....</b>	<b>2</b>
<b>1.2 Justificación.....</b>	<b>3</b>
<b>1.3 Descripción del sitio experimental.....</b>	<b>3</b>
<b>1.4 Objetivos.....</b>	<b>4</b>
<b>1.4.1 <i>Objetivo General</i>.....</b>	<b>4</b>
<b>1.4.2 <i>Objetivos Específicos</i>.....</b>	<b>5</b>

### CAPÍTULO II

<b>2 MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>6</b>
<b>2.1 Antecedentes de investigación.....</b>	<b>6</b>
<b>2.2 Referencias Teóricas.....</b>	<b>7</b>
<b>2.2.1 <i>Pollinaza</i>.....</b>	<b>7</b>
<b>2.2.1.1 <i>Producción de Pollinaza en el Ecuador</i>.....</b>	<b>7</b>
<b>2.2.1.2 <i>Efectos de la Pollinaza en el ambiente</i>.....</b>	<b>9</b>
<b>2.2.1.3 <i>Calidad de la Pollinaza</i>.....</b>	<b>11</b>
<b>2.2.1.4 <i>Composición Química de la Pollinaza</i>.....</b>	<b>12</b>
<b>2.2.2 <i>Harina de Hueso</i>.....</b>	<b>13</b>
<b>2.2.2.1 <i>Composición de la Harina de Hueso</i>.....</b>	<b>14</b>
<b>2.2.2.2 <i>Método de conservación de huesos por H<sub>2</sub>O<sub>2</sub></i>.....</b>	<b>15</b>
<b>2.2.3 <i>Ceniza de Madera</i>.....</b>	<b>17</b>
<b>2.2.3.1 <i>Composición de nutrientes en la ceniza de madera</i>.....</b>	<b>17</b>
<b>2.2.3.2 <i>Utilidad de la ceniza de madera como fertilizante</i>.....</b>	<b>18</b>



<b>2.2.4</b>	<b>Fertilizantes</b> .....	19
<b>2.2.4.1</b>	<i>Clasificación de los fertilizantes</i> .....	20
<b>2.2.4.2</b>	<i>Influencia sobre las características del suelo</i> .....	21
<b>2.2.4.3</b>	<i>Importancia de los Fertilizantes Orgánicos</i> .....	22
<b>2.2.5</b>	<b>Compostaje</b> .....	22
<b>2.2.5.1</b>	<i>Como preparar Compost</i> .....	23
<b>2.2.5.2</b>	<i>Fases del Compost</i> .....	25

### CAPÍTULO III

<b>3.</b>	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	27
<b>3.1</b>	<b>Enfoque del objeto de estudio</b> .....	27
<b>3.1.1</b>	<i>Tipo de Estudio</i> .....	27
<b>3.1.2</b>	<i>Enfoque de Investigación</i> .....	27
<b>3.1.3</b>	<i>Nivel de Investigación</i> .....	28
<b>3.2</b>	<b>Ingeniería del proceso</b> .....	28
<b>3.2.1</b>	<i>Procedimiento a nivel de laboratorio</i> .....	28
<b>3.2.1.1</b>	<i>Elaboración de compost a base de Pollinaza</i> .....	28
<b>3.2.1.2</b>	<i>Técnicas para caracterizar el compost de acuerdo con la norma NCH 2880</i> .....	35
<b>3.2.1.3</b>	<i>Flujograma del proceso de elaboración de compost</i> .....	37
<b>3.2.1.4</b>	<i>Elaboración de harina de hueso de res</i> .....	39
<b>3.2.1.5</b>	<i>Técnicas para caracterizar la harina de hueso.</i> .....	43
<b>3.2.1.6</b>	<i>Flujograma del proceso de elaboración de ceniza de hueso.</i> .....	44
<b>3.2.1.6</b>	<i>Elaboración de ceniza de madera a base de eucalipto</i> .....	45
<b>3.2.1.7</b>	<i>Técnicas para caracterizar la ceniza de madera</i> .....	48
<b>3.2.1.8</b>	<i>Flujograma del proceso de elaboración de ceniza de madera</i> .....	48
<b>3.2.2</b>	<b>Formulación del fertilizante orgánico NPK</b> .....	49
<b>3.2.2.1</b>	<i>Caracterización del fertilizante orgánico NPK obtenido</i> .....	52
<b>3.2.2.2</b>	<i>Digestión de las muestras con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></i> .....	52
<b>3.2.2.3</b>	<i>Determinación de Nitrógeno (N) total</i> .....	53
<b>3.2.2.4</b>	<i>Determinar de Fósforo (P) total</i> .....	54
<b>3.2.3</b>	<b>Procedimiento a nivel industrial</b> .....	55
<b>3.2.3.1</b>	<i>Bases de Cálculo</i> .....	55
<b>3.2.3.2</b>	<i>Cálculo de cantidades necesarias para la producción 500 kg de fertilizante</i> .....	55
<b>3.2.3.3</b>	<i>Balance de masa</i> .....	58
<b>3.2.3.4</b>	<i>Balance de energía</i> .....	77
<b>3.2.3.5</b>	<i>Descripción de la propuesta de diseño industrial</i> .....	89

3.2.3.6	<i>Variables que intervienen directamente en el proceso</i>	91
3.2.3.7	<i>Operaciones y Procesos Unitarios que intervienen en el proceso</i>	92
3.3	<b>Dimensionamiento de los Equipos</b>	93
3.3.1	<b><i>Diseño de un molino de martillos</i></b>	93
3.3.1.1	<i>Cálculo de la Molturabilidad</i>	94
3.3.1.2	<i>Cálculo de las dimensiones de los martillos</i>	94
3.3.1.3	<i>Cálculo de la energía requerida por el molino</i>	96
3.3.1.4	<i>Cálculo de la velocidad del motor</i>	97
3.3.1.5	<i>Cálculo de la potencia requerida para la molienda</i>	98
3.3.1.6	<i>Cálculo de la potencia del motor</i>	99
3.3.1.7	<i>Cálculo del volumen de la tolva de alimentación</i>	100
3.3.1.8	<i>Cálculo del volumen de armazón del equipo</i>	101
3.3.2	<b><i>Diseño de un tamizador industrial</i></b>	101
3.3.2.1	<i>Cálculo de la capacidad del equipo tamizador</i>	101
3.3.2.2	<i>Cálculo del volumen de carga del equipo tamizador</i>	102
3.3.2.3	<i>Cálculo del tamiz y bandeja</i>	102
3.3.2.4	<i>Cálculo de la carga existente en la bandeja</i>	103
3.3.2.5	<i>Cálculo de la elasticidad de los resortes</i>	104
3.3.2.6	<i>Cálculo de la frecuencia propia</i>	104
3.3.2.7	<i>Cálculo de la fuerza de vibración en el motovibrador</i>	105
3.3.2.8	<i>Selección del motorreductor</i>	106
3.3.2.9	<i>Cálculo de la eficiencia del motorreductor</i>	106
3.3.3	<b><i>Diseño de un Mezclador</i></b>	106
3.3.3.1	<i>Cálculo del volumen que ocupa el producto</i>	107
3.3.3.2	<i>Cálculo de la potencia del motorreductor</i>	108
3.3.3.3	<i>Cálculo de la distribución del producto en el recipiente</i>	108
3.3.3.4	<i>Cálculo del volumen sometido a la mezcla por las paletas</i>	109
3.3.3.5	<i>Cálculo del peso de la paleta para remover la mezcla</i>	110
3.3.3.6	<i>Cálculo de la potencia del motor para realizar la mezcla</i>	110
3.3.3.7	<i>Diseño de las paletas</i>	111
3.3.3.8	<i>Cálculo del diámetro del tanque</i>	112
3.3.4	<b><i>Diseño de una peletizadora de rodillos giratorios</i></b>	113
3.3.4.1	<i>Determinación de la tolva de alimentación</i>	113
3.3.4.2	<i>Cálculo del volumen del tronco de pirámide de la tolva</i>	114
3.3.4.3	<i>Cálculo de la cámara de aglutinado</i>	115
3.3.4.4	<i>Cálculo de la velocidad de giro de los rodillos</i>	115
3.3.4.5	<i>Determinación del disco de corte</i>	117

3.3.4.6	<i>Selección de motor</i> .....	117
3.3.5	<b><i>Diseño de una marmita a vapor</i></b> .....	117
3.3.5.1	<i>Cálculo del volumen de la marmita</i> .....	118
3.3.5.2	<i>Cálculo de la altura de la marmita</i> .....	118
3.3.5.3	<i>Cálculo del número de Reynolds</i> .....	120
3.3.5.4	<i>Cálculo de la potencia requerida</i> .....	121
3.3.6	<b><i>Diseño de una mesa de limpieza y lavado para recepción de materia prima</i></b> .....	121
3.3.6.1	<i>Cálculo del volumen de la mesa</i> .....	122
3.3.6.2	<i>Cálculo de la capacidad aproximada de la mesa</i> .....	122
3.3.7	<b><i>Cotización de otros equipos necesarios para el proceso</i></b> .....	123
3.3.7.1	<i>Triturador</i> .....	123
3.3.7.2	<i>Secador</i> .....	123
3.3.7.3	<i>Calcinador</i> .....	124
3.3.7.4	<i>Cortadora de huesos tipo guillotina</i> .....	124
3.3.7.5	<i>Tolva de embolsado</i> .....	125
3.4	<b>Estudio de viabilidad técnica y económica del proyecto</b> .....	125
3.4.1.	<i>Inversión fija</i> .....	126
3.4.2	<i>Proyección de gastos de producción</i> .....	126
3.4.3	<i>Capital de operaciones</i> .....	127
3.4.4	<i>Inversión total</i> .....	128
3.4.5	<i>Costo de producción anual</i> .....	128
3.4.6	<i>Cálculo del precio de venta al público</i> .....	129
3.4.7	<i>Puesta en marcha del proyecto</i> .....	129
3.4.8	<i>Punto de Equilibrio</i> .....	130
3.4.9	<i>Utilidad neta</i> .....	130
3.4.10	<i>Valor Actual Neto (VAN)</i> .....	131
3.4.11	<i>Taza Interna de Retorno (TIR)</i> .....	132
3.4.11.1	<i>Cálculo del TIR</i> .....	133
3.4.11.2	<i>Comprobación del TIR</i> .....	133
3.4.12	<i>Periodo de recuperación</i> .....	133
3.4.13	<i>Beneficio costo del proyecto</i> .....	134

## CAPÍTULO IV

4.	<b>MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b> .....	135
4.1	<b>Compostaje</b> .....	135
4.1.1	<i>Análisis de los materiales de partida</i> .....	135

4.1.2	<i>Evolución de la temperatura en los tratamientos de compostaje</i> .....	136
4.1.3	<i>Caracterización del compost</i> .....	138
4.1.4	<i>Índice de Germinación</i> .....	139
4.2	<b>Ceniza de Hueso</b> .....	141
4.2.1	<i>Caracterización de la ceniza de hueso</i> .....	141
4.3	<b>Ceniza de Madera</b> .....	141
4.3.1	<i>Caracterización de la ceniza de madera</i> .....	141
4.4	<b>Formulación del fertilizante</b> .....	142
4.4.1	<i>Resultados elementales de la materia prima</i> .....	142
4.4.2	<i>Validación del producto obtenido de acuerdo a la norma NTC 5167</i> .....	143
4.5	<b>Procedimiento industrial y de laboratorio</b> .....	144
4.5.1	<i>Bases de cálculo para el proceso industrial</i> .....	144
4.5.2	<i>Rendimiento de los procesos industriales y balance de energía</i> .....	145
4.5.2	<i>Resultados del dimensionamiento de equipos para la elaboración del fertilizante orgánico</i> .....	146
4.6	<b>Análisis de la viabilidad técnica y económica del proyecto</b> .....	147
4.7	<b>Análisis y discusión de resultados</b> .....	148
<b>CONCLUSIONES</b> .....		150
<b>RECOMENDACIONES</b> .....		152
<b>GLOSARIO</b>		
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>		
<b>ANEXOS</b>		

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1:</b>	Características geográficas de la ESPOCH .....	3
<b>Tabla 2-1:</b>	Factores de calidad de la pollinaza .....	11
<b>Tabla 2-2:</b>	Composición química de la pollinaza.....	12
<b>Tabla 2-3:</b>	Elementos esenciales por cada método de obtención de harina de hueso .....	14
<b>Tabla 2-4:</b>	Composición química de la harina de hueso .....	15
<b>Tabla 2-5:</b>	Propiedades de la ceniza de madera .....	17
<b>Tabla 2-6:</b>	Descripción de los elementos que constituye un fertilizante.....	19
<b>Tabla 2-7:</b>	Principales semejanzas y diferencias de los fertilizantes orgánicos y químicos ..	20
<b>Tabla 2-8:</b>	Propiedades de los fertilizantes orgánicos en los suelos .....	21
<b>Tabla 2-9:</b>	Beneficios de utilizar fertilizantes orgánicos.....	22
<b>Tabla 2-10:</b>	Problemas y soluciones durante la etapa de compostaje .....	25
<b>Tabla 2-11:</b>	Las 4 fases del proceso de compostaje .....	25
<b>Tabla 3-1:</b>	Descripción de los tratamientos experimentales del compostaje .....	30
<b>Tabla 3-2:</b>	Resultados de los tratamientos de compostaje realizados .....	33
<b>Tabla 3-3:</b>	Resultados obtenidos del compost.....	35
<b>Tabla 3-4:</b>	Determinación de humedad.....	35
<b>Tabla 3-5:</b>	Determinación de pH.....	36
<b>Tabla 3-6:</b>	Determinación de cenizas por el método de pérdida por volatilización .....	36
<b>Tabla 3-7:</b>	Determinación de la densidad.....	37
<b>Tabla 3-8:</b>	Determinación de capacidad de retención de agua.....	37
<b>Tabla 3-9:</b>	Resultados obtenidos de la harina de hueso .....	43
<b>Tabla 3-10:</b>	Determinación de grasas totales .....	43
<b>Tabla 3-11:</b>	Resultados obtenidos de la harina de hueso .....	47
<b>Tabla 3-12:</b>	Requisitos mínimos de caracterización para ceniza de madera.....	48
<b>Tabla 3-13:</b>	Concentraciones elementales porcentuales de la materia prima.....	49
<b>Tabla 3-14:</b>	Formulaciones establecidas del fertilizante .....	49
<b>Tabla 3-15:</b>	Concentraciones elementales finales de las formulaciones .....	50
<b>Tabla 3-16:</b>	Pesos de la materia prima empleada a escala de laboratorio .....	55
<b>Tabla 3-17:</b>	Cantidad total de materia prima empleada en la formulación .....	56
<b>Tabla 3-18:</b>	Resultados de los cálculos elaborados para la producción de 500 kg de fertilizante orgánico .....	58
<b>Tabla 3-19:</b>	VARIABLES QUE INTERVIENEN EN EL PROCESO INDUSTRIAL DE PRODUCCIÓN DE FERTILIZANTE orgánico .....	92
<b>Tabla 3-20:</b>	Especificaciones del triturador de madera.....	123

<b>Tabla 3-21:</b>	Especificaciones del secador industrial de bandejas .....	123
<b>Tabla 3-22:</b>	Especificaciones de la mufla industrial .....	124
<b>Tabla 3-23:</b>	Especificaciones de la cortadora de huesos .....	125
<b>Tabla 3-24:</b>	Especificaciones de la tolva de distribución de producto .....	125
<b>Tabla 3-25:</b>	Presupuesto de la inversión fija del proyecto .....	126
<b>Tabla 3-26:</b>	Costos de materia prima e insumos .....	126
<b>Tabla 3-27:</b>	Costos de trabajadores en la empresa .....	127
<b>Tabla 3-28:</b>	Costos de servicios básicos .....	127
<b>Tabla 3-29:</b>	Gastos mensuales de producción .....	128
<b>Tabla 3-30:</b>	Inversión total del proyecto .....	128
<b>Tabla 3-31:</b>	Costos de producción anual .....	128
<b>Tabla 3-32:</b>	Costos para la puesta en marcha del proyecto .....	129
<b>Tabla 3-33:</b>	Flujo de caja en 5 años proyectados .....	131
<b>Tabla 3-34:</b>	Valor actual neto del proyecto .....	132
<b>Tabla 3-35:</b>	Tasa interna de retorno .....	133
<b>Tabla 3-36:</b>	Comprobación del TIR .....	133
<b>Tabla 3-37:</b>	Periodo de recuperación del proyecto .....	134
<b>Tabla 4-1:</b>	Resultados de los parámetros analizados al inicio del proceso de compostaje ..	135
<b>Tabla 4-2:</b>	Resultados de calidad del compost de acuerdo a la norma NCH 2880 .....	138
<b>Tabla 4-3:</b>	Resultados de la caracterización de la ceniza de hueso calcinado .....	141
<b>Tabla 4-4:</b>	Resultados de la caracterización de ceniza de madera de eucalipto .....	142
<b>Tabla 4-5:</b>	Resultados de la composición elemental de la materia prima .....	142
<b>Tabla 4-6:</b>	Resultados de las formulaciones realizadas .....	143
<b>Tabla 4-7:</b>	Norma NTC 5167 para productos orgánicos usados como fertilizantes .....	143
<b>Tabla 4-8:</b>	Validación del fertilizante orgánico .....	144
<b>Tabla 4-9:</b>	Cantidades necesarias de materia prima para la producción industrial .....	144
<b>Tabla 4-10:</b>	Rendimientos de los procesos industriales .....	145
<b>Tabla 4-11:</b>	Valores obtenidos en el balance de energía del proceso .....	145
<b>Tabla 4-12:</b>	Resultados del diseño de equipos para el proceso industrial .....	146
<b>Tabla 4-13:</b>	Beneficio /costo del proyecto .....	147
<b>Tabla 4-14:</b>	Parámetros financieros de la factibilidad del proyecto .....	147
<b>Tabla 4-15:</b>	Resumen de los gastos y beneficios mensuales .....	148

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1-1:</b>	Facultad de Ciencias de la ESPOCH .....	4
<b>Ilustración 2-1:</b>	Producciones avícolas del Ecuador clasificado por provincias.....	8
<b>Ilustración 2-2:</b>	Comparación de valores del consumo per cápita de pollo en Ecuador.....	8
<b>Ilustración 2-3:</b>	Efecto de los residuos avícolas en el ambiente .....	10
<b>Ilustración 2-4:</b>	Diagrama de flujo del procesamiento de la pollinaza realizado por los avicultores .....	11
<b>Ilustración 2-5:</b>	Diagrama de flujo del tratamiento de huesos con H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .....	16
<b>Ilustración 2-6:</b>	Porcentajes de nutrientes que aporta la ceniza de madera .....	18
<b>Ilustración 2-7:</b>	Reacción química del proceso de compostaje.....	23
<b>Ilustración 2-8:</b>	Esquema del proceso de compostaje.....	24
<b>Ilustración 3-1:</b>	Pollinaza .....	28
<b>Ilustración 3-2:</b>	Composteras elaboradas .....	30
<b>Ilustración 3-3:</b>	Humectación del compostaje .....	31
<b>Ilustración 3-4:</b>	Sellado hermético .....	32
<b>Ilustración 3-5:</b>	Compost obtenido .....	33
<b>Ilustración 3-6:</b>	Pesado de compost.....	33
<b>Ilustración 3-7:</b>	Molienda de compost.....	34
<b>Ilustración 3-8:</b>	Tamizado de compost .....	34
<b>Ilustración 3-9:</b>	Diagrama de flujo para la preparación de compost a base de pollinaza .....	42
<b>Ilustración 3-10:</b>	Tienda de cárnicos “La Finca”.....	39
<b>Ilustración 3-11:</b>	Limpieza y desinfección de los huesos .....	40
<b>Ilustración 3-12:</b>	Acción del H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> en el hueso.....	41
<b>Ilustración 3-13:</b>	Huesos finales .....	41
<b>Ilustración 3-14:</b>	Calcinación en mufla .....	42
<b>Ilustración 3-15:</b>	Triturado en mortero .....	42
<b>Ilustración 3-16:</b>	Diagrama de flujo para la preparación de harina de hueso .....	45
<b>Ilustración 3-17:</b>	Obtención de madera .....	45
<b>Ilustración 3-18:</b>	Triturado de madera.....	46
<b>Ilustración 3-19:</b>	Calcinación en el horno fundidor.....	47
<b>Ilustración 3-20:</b>	Diagrama de flujo para la obtención de ceniza de madera.....	48
<b>Ilustración 3-21:</b>	Resultados porcentuales de las formulaciones realizadas .....	51
<b>Ilustración 3-22:</b>	Fuentes de materia prima para la elaboración del fertilizante.....	51
<b>Ilustración 3-23:</b>	Diagrama de flujo para la caracterización de abonos orgánicos. ....	53
<b>Ilustración 3-24:</b>	Diagrama de flujo para la determinación de N total .....	54

<b>Ilustración 3-25:</b> Diagrama de flujo para la determinación de P total.....	54
<b>Ilustración 3-26:</b> Diagrama de flujo del balance de masa general de producción de harina de hueso .....	44
<b>Ilustración 3-27:</b> Diagrama de flujo del balance de masa general de producción de compost. 71	
<b>Ilustración 3-28:</b> Diagrama de flujo del balance de masa general de producción de ceniza de madera .....	71
<b>Ilustración 3-29:</b> Propuesta de diseño para la producción de fertilizante orgánico .....	82
<b>Ilustración 3-30:</b> Fuerzas de corte para ruptura de hueso.....	95
<b>Ilustración 3-31:</b> Posiciones de trabajo del operario .....	122
<b>Ilustración 4-1:</b> Desarrollo de la temperatura durante el proceso de compostaje.....	136
<b>Ilustración 4-2:</b> Desarrollo de la temperatura por fases de compostaje.....	137
<b>Ilustración 4-3:</b> Resultados del índice de germinación.....	139



## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A:** RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS EN EL EQUIPO DUMAS

**ANEXO B:** RESULTADOS DE NITRÓGENO AMONIAICAL

**ANEXO C:** RESULTADOS DEL FOSFORO DISPONIBLE

**ANEXO D:** CONTROL DE PARÁMETROS EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE

**ANEXO E:** FASES EN LA PRODUCCIÓN DE CENIZA DE HUESO

**ANEXO F:** PROCESOS DESARROLLADOS PARA LA DIGESTIÓN DE LAS MUESTRAS  
EN LA CARACTERIZACIÓN DEL ABONO ORGÁNICO

**ANEXO G:** CARACTERIZACIÓN DE LAS MUESTRAS EN EL ESPECTROFOTÓMETRO  
Y FOTÓMETRO DE LLAMA

## RESUMEN

La agricultura en el Ecuador constituye una base sólida sobre la que sustentar y mantener el crecimiento económico y bienestar social del país, por ello se emplean fertilizantes sintéticos para aumentar la producción y rendimiento de los cultivos, sin embargo, su uso constante conlleva a la reducción de la fertilidad del suelo, pérdida de nutrientes y contaminación, es así que con el objetivo de promover el uso de alternativas ambientales y económicamente viables se ha propuesto “Diseñar un proceso industrial para la producción de un fertilizante sólido a base de pollinaza para cultivos agrícolas”. La metodología implementada tuvo un carácter técnico-experimental, utilizando pollinaza como fuente de N después de un previo tratamiento en la preparación de compost; hueso de res como fuente de Ca y P tratados con  $H_2O_2$  y sometidos a calcinación durante 3 horas a temperaturas  $< 800^{\circ}C$  y la ceniza de madera de eucalipto como fuente de K calcinada a  $450^{\circ}C$ . La presencia de N, P, K, Ca y Mg en el fertilizante orgánico producido dio como resultado 10,76%, 11,43%, 5,94%, 13,64 y 3,41% respectivamente. Se caracterizó la materia prima y las formulaciones utilizando el espectrofotómetro UV-Visible y el fotómetro de llama, con la formulación obtenida se diseñó el proceso industrial para producir 500 kg/día, proceso que se lleva a cabo a través de una producción por lotes interviniendo 6 operaciones unitarias. Finalmente, el análisis económico permitió conocer la rentabilidad económica del proyecto a través de distintos parámetros financieros, donde se prevé que la inversión se recupere en 3 años 2 meses con un PVP de 23,55\$ por presentación de 25 kg. Se concluye que las materias primas utilizadas son ideales en la aportación de nutrientes esenciales para las plantas a su vez estos desechos orgánicos al ser aprovechados generan un beneficio económico y un compromiso ambiental.

**Palabras clave:** <RESIDUOS ORGÁNICOS>, <COMPOSTAJE>, <FERTILIZANTE ORGÁNICO NPK>, <DISEÑO INDUSTRIAL>, <ESPECTROFOTOMETRÍA UV-VISIBLE>, <AGRICULTURA>.


1371-DBRA-UPT-2023



## SUMMARY

Agriculture in Ecuador is a solid base on which to sustain and maintain the economic growth and social welfare of the country, therefore synthetic fertilizers are used to increase crop production and yields; however, their constant use leads to the reduction of soil fertility, loss of nutrients and pollution, so with the aim of promoting the use of environmentally and economically viable alternatives it has been proposed to "Design an industrial process for the production of a solid fertilizer based on poultry manure for agricultural crops". The methodology implemented had a technical-experimental character, using chicken compost as a source of N after a previous treatment in the preparation of compost; beef bone as a source of Ca and P treated with H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and subjected to calcination for 3 hours at temperatures <to 800°C and eucalyptus wood ash as a source of K calcined at 450°C. The presence of N, P, K, Ca and Mg in the organic fertilizer produced resulted in 10.76%, 11.43%, 5.94%, 13.64% and 3.41% respectively. The raw material and the formulations were characterized using the UV-Visible spectrophotometer and the flame photometer. With the formulation obtained, the industrial process was designed to produce 500 kg/day, a process that is carried out through a batch production involving 6 unitary operations. Finally, the economic analysis allowed to know the economic profitability of the project through different financial parameters, where the investment is expected to be recovered in 3 years 2 months with a PVP of \$23.55 per presentation of 25 kg. It is concluded that the raw materials used are ideal for the supply of essential nutrients for the plants and that these organic wastes, when used, generate an economic benefit and an environmental commitment.

**Key words:** <ORGANIC WASTE>, <COMPOST>, <ORGANIC NPK FERTILIZER>, <INDUSTRIAL DESIGN>, <UV-VISIBLE SPECTROPHOTOMETRY>, <AGRICULTURE>.



---

Abg. Ana Gabriela Reinoso. Mgs.

Ced: 1103696132

## INTRODUCCIÓN

La agricultura en el Ecuador constituye uno de los principales ingresos económicos del país, representando el 8% del PIB y convirtiéndose en la principal fuente de empleo. Los fertilizantes son los componentes más importantes en la agricultura, debido a que se agregan nutrientes al suelo, promueven la fertilidad y el crecimiento de las plantas. Debido a la creciente demanda y la disponibilidad limitada de tierras, los agricultores utilizan cada vez más fertilizantes químicos para aumentar la producción agrícola. Pero el uso constante de fertilizantes artificiales destruye las propiedades del suelo, reduce su fertilidad y provoca la pérdida de nutrientes (IFA 1993, p. 21). Estos fertilizantes representaron el 50 % de las importaciones del país, lo que corresponde a un gasto de \$247,3 millones (Valencia 2017, p. 11).

Por otro lado, los fertilizantes orgánicos mejoran la fertilidad del suelo, las propiedades fisicoquímicas, la capacidad de retención de agua, el pH, la proporción de hongos y bacterias del suelo, la actividad enzimática y el rendimiento (Majee et al. 2020, p. 2). En general, es necesario para la agricultura ecuatoriana introducir opciones más favorables para la fertilidad del suelo, debido a que gran parte de los ecuatorianos dedicados a la agricultura se encuentran en desventaja por los limitados recursos económicos.

Varios autores han confirmado que el uso de aditivos orgánicos en los suelos mejora significativamente sus propiedades, por lo que se recomienda totalmente su uso para limitar el manejo de fertilizantes artificiales y promover una agricultura sostenible. Por las razones antes mencionadas, se integra en este trabajo IV capítulos que permiten comprender las interrogantes y justificación de la investigación, la parte teórica básica de cada aspecto investigado, la metodología y diseño propuestos para la implementación del proyecto y finalmente los resultados obtenidos en la Investigación. Siendo el objetivo principal, desarrollar un fertilizante orgánico rico en nutrientes esenciales que sea una alternativa económicamente interesante para la agricultura ecuatoriana.

# CAPÍTULO I

## 1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

### 1.1 Planteamiento del problema

Las industrias avícolas y cárnicas en el Ecuador juegan un papel muy importante en el desarrollo y economía del país, además están en constante desarrollo para garantizar al consumidor un producto de calidad, pero los problemas que existen en estas industrias corresponden a la mala gestión de los desechos orgánicos generados (Morales y Moreno 2017, p. 4).

Los desechos generados de manera deficiente, incluidos el estiércol de aves y los desechos de carne, son una fuente de contaminación del aire, suelo y agua, lo que representa una amenaza no solo para el medio ambiente sino también para la salud humana y animal. Este mal manejo de los desechos orgánicos ha tenido un impacto similar en el sector agrícola, que con el tiempo ha llevado a que los insumos químicos controlen la agricultura. (Perez 2006, p. 21) señala que los fertilizantes químicos solo diluyen en el suelo un 10 a 40 % de los componentes que contienen, y el resto se emite a la atmósfera como otra fuente de contaminación.

No obstante, existe un creciente interés por desarrollar actividades productivas que sean sustentables mitigando los desechos generados por las industrias y mejorando el sector agrícola; debido a que el uso de desechos orgánicos en la agricultura es un factor económico, ambiental y social importante. Los desechos antes mencionados son depósitos masivos de material que puede recuperarse mediante diversas técnicas y utilizarse como fuentes para la fabricación de diferentes fertilizantes.

Con el desarrollo de los fertilizantes orgánicos no solo se ha agregado valor a los residuos generados por industrias, sino que también se mejora la calidad del suelo y la vida de los pequeños agricultores al reducir el uso de fertilizantes químicos y promover el uso de alternativas ambientales y económicamente viables.

## 1.2 Justificación

La contaminación es una consecuencia irremediable de nuestra forma de vida y hábitos de consumo, siendo complicado eliminarla por completo. Tanto la pollinaza como los residuos de la industria cárnica se han convertido en una problemática ambiental.

Entonces, es importante dar solución a las problemáticas planteadas a través de la reutilización de estos desechos que, siendo procesados de manera controlada no representan peligro alguno para el ambiente y la sociedad, esta oportunidad la brinda el uso de fertilizantes orgánicos que son subproductos de las actividades humanas.

En vista a los antecedentes presentados y como una alternativa para mitigar el impacto ambiental ocasionado por estos sectores estratégicos, el presente trabajo investigativo parte de la necesidad de brindar a los pequeños productores nuevas alternativas viables que aporten con la mejora de la productividad de los cultivos agrícolas, elaborando un fertilizante orgánico que sea de bajo costo, amigable con el ambiente y de fácil acceso pero que aporte con beneficios similares para el crecimiento y desarrollo de las plantas que un fertilizante tradicional puede brindar; generando mejorías en los ingresos de familias campesinas y por ende su bienestar.

## 1.3 Descripción del sitio experimental

El presente proyecto técnico se realizará en las instalaciones de la “Escuela Superior Politécnica de Chimborazo” de la ciudad de Riobamba provincia de Chimborazo, ubicada en la Panamericana Sur km 1 ½ vía a la costa; específicamente en el laboratorio de “Biorremediación”, “Instrumental” y el “Centro de Acopio de Residuos Sólidos” pertenecientes a la “Facultad de Ciencias”, los cuales se detallan a continuación:

**Tabla 1-1:** Características geográficas de la ESPOCH

<b>Provincia</b>	Chimborazo
<b>Cantón</b>	Riobamba
<b>Altitud</b>	2815 m.s.n.m
<b>Coordenadas</b>	78°40'20'
<b>Temperatura promedio</b>	8 a 22°C
<b>Ubicación</b>	Av. Panamericana Sur km 1 ½

Fuente: Google earth, 2023

Realizado por: Aguilar, J., 2023.



**Ilustración 1-1:** Facultad de Ciencias de la ESPOCH

**Fuente:** Google earth, 2023.



**Ilustración 1-2:** Exterior del laboratorio de Biorremediación

**Realizado por:** Aguilar, J., 2023.

Los análisis para la determinación de elementos primarios y secundarios se realizaron en el laboratorio de instrumental.

## 1.4 Objetivos

### 1.4.1 Objetivo general

Diseñar un proceso industrial para la elaboración de un fertilizante sólido a base de pollinaza para cultivos agrícolas.

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

- Realizar la caracterización físico – química de la materia prima a utilizar según la norma NCH 2880-Compost: clasificación y requisitos y la norma NTC 657-Harina de huesos.
- Elaborar la formulación óptima del fertilizante orgánico a base de las fuentes de materia prima utilizadas.
- Identificar las variables del proceso y realizar los cálculos de ingeniería correspondientes.
- Validar el fertilizante obtenido de acuerdo con la norma NTC ICONTEC 5167 “Productos Orgánicos usados como Abonos o Fertilizantes”.
- Realizar un estudio de viabilidad técnica y económica del proyecto.



## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes de investigación

Según (Morales y Moreno 2017, p. 22) la utilización de abonos orgánicos en la agricultura tiene su origen desde la antigüedad donde se estima que su descubrimiento fue por observación debido a que todo desecho generado por los habitantes de los pueblos o ciudades eran desechados al suelo, con el tiempo se notó que ciertas plantas crecían alrededor de la fosa de desechos donde se mantenían en buenas condiciones y presentaban un aspecto agradable, así mismo cuando se sembraba en las mismas tierras los cultivos se desarrollaban sanos y fuertes, por lo que empezaron a asimilar que los restos de basura orgánica que desechaban en el suelo otorgaban de cierta manera nutrientes que ayudan al crecimiento de las plantas.

Con el tiempo esta técnica tomó más iniciativa en la población y se convirtió en un hábito indispensable en las familias campesinas, así mismo fueron apareciendo nuevos métodos de fertilización, como la utilización de estiércol, hojas secas, abono verde, etc. Hasta la actualidad los abonos orgánicos han generado un gran impacto positivo en los suelos y es la razón por la que nuestros abuelos lo usaban, (Luna 2019, p. 18) narra como nuestros antepasados preparaban los suelos para siembra con restos orgánicos de alimentos consumidos y dejaban que el suelo mismo se encargue de su descomposición, así mismo agregando estiércol, cenizas, hojas y todo lo que la naturaleza les facilitaba. Pero con el tiempo fueron apareciendo los fertilizantes químicos que tomaron control de todo el sector agrícola. Según lo expuesto por (Perez 2006, p. 24) los productos agroquímicos se convirtieron en una gran innovación, debido a que las personas observaban que al emplear este nuevo insumo como abono para sus plantas, estas se desarrollaban de mejor manera aumentando el tamaño y cantidad de los frutos, pero el inconveniente radicaba en que eran muy jóvenes y no sabían cómo usarlos por lo que fueron aprendiendo por medio de observación.

Poco a poco los productos químicos tomaron control de la agricultura y las personas empezaron a adoptar nuevas técnicas para trabajar las tierras, olvidando por completo la utilización de abonos orgánicos. Estas costumbres fueron pasando de generación en generación y aunque en la actualidad los fertilizantes químicos son indispensables, gran parte del sector agrícola ha regresado a la utilización de abonos orgánicos, como el compostaje, humus, estiércol, ceniza, hojas, etc. debido a que han notado que los productos químicos han destruido las tierras dejándolas infértiles e inhabilitadas para la siembra perjudicando su economía y trabajo.

En base a estos antecedentes han surgido diversas investigaciones sobre la elaboración de fertilizantes utilizando materias orgánicas; (Campoverde y Castillo 2015, p. 15) en su trabajo de grado menciona que se puede utilizar restos de pescado para elaborar un fertilizante rico en potasio y con concentraciones menores de N y P, así mismo (Barrera Delgado 2017, p. 10) menciona la fabricación de un fertilizante sólido a base de residuos orgánicos generados por una empresa donde indica la importancia del compostaje para garantizar un óptimo tratamiento de los residuos sólidos y un compost rico en proteína y presencia de N-P-K; pese a esto no existen investigaciones previas que emplean harina de hueso o ceniza para la realización de un fertilizante o la combinación de estas materias primas, por lo que la ejecución de este proyecto constituirá un eje fundamental para futuras investigaciones y aplicaciones.

## **2.2 Referencias teóricas**

### **2.2.1 Pollinaza**

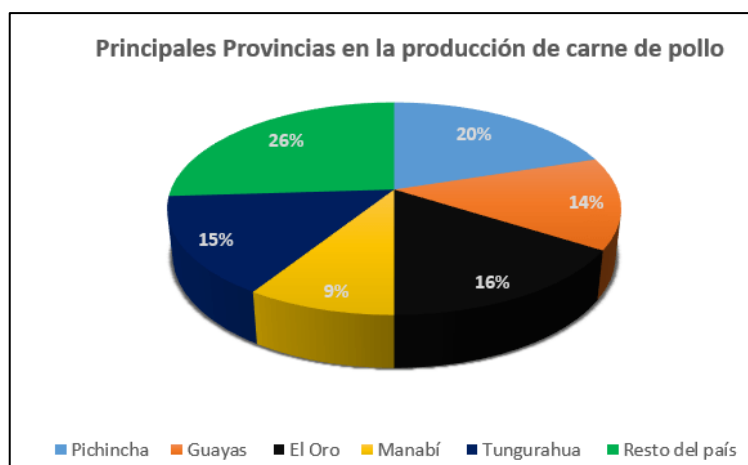
La Pollinaza es el estiércol de pollo de engorde producido durante todo el ciclo de desarrollo del ave que dura unos 42 días alcanzando un promedio de 2,5 a 3 kg (Mullo 2012, p. 24). Generalmente, el estiércol de las aves está adherido con un material llamado "cama" cuya función es proporcionar un área cómoda para que el ave evite el contacto con el suelo; comúnmente se usan cascarillas de arroz y astillas de madera debido a su capacidad para retener la humedad.

De acuerdo con (Magagula et al. 2010, p. 1) el estiércol de pollo es un excelente fertilizante para cultivos, el cual contiene N,  $PO_4^{3-}$ , K y micronutrientes que son esenciales para el crecimiento de las plantas. Además, la aplicación de estiércol en las tierras de cultivo puede mejorar la labranza del suelo.

#### **2.2.1.1 Producción de Pollinaza en el Ecuador**

Hoy en día, la industria avícola en el Ecuador es una de las actividades más importantes de la economía, convirtiéndose en la segunda industria de consumo de carne del país. Esta se fundamenta en dos segmentos importantes, la producción de pollos y la producción comercial de huevos, de los cuales alrededor del 97% se vende y el 3% restante se utiliza para uso propio (Morales y Moreno 2017, p. 12).

La producción de pollos a nivel nacional abarca 3 regiones: Costa, Sierra y Amazonía, donde se distribuye de la siguiente manera:



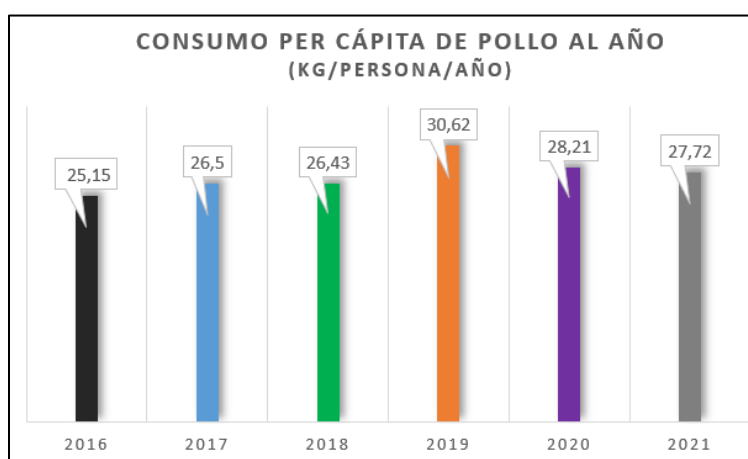
**Ilustración 2-1:** Producciones avícolas del Ecuador clasificado por provincias

**Fuente:** (CONAVE 2021)

**Realizado por:** Aguilar, J., 2023.

Como se muestra en la ilustración 3-2, Pichincha lidera el paquete con el 15% de la producción, pero a nivel nacional, la producción de pollos de Ecuador ha aumentado significativamente, alcanzando los 255 millones de pollos para el 2021.

Esta gran producción de pollos se debe a la alta demanda de los ecuatorianos por el consumo de carne, lo que ha hecho que la industria avícola este en constante crecimiento. Así mismo para el año 2021 se estima que el país consumió 27,72 kg de carne por persona (CONAVE 2021, p. 17), como se detalla en el siguiente gráfico estadístico.



**Ilustración 2-2:** Comparación de valores del consumo per cápita de pollo al año en Ecuador

**Fuente:** (CONAVE 2021)

**Realizado por:** Aguilar, J., 2023.

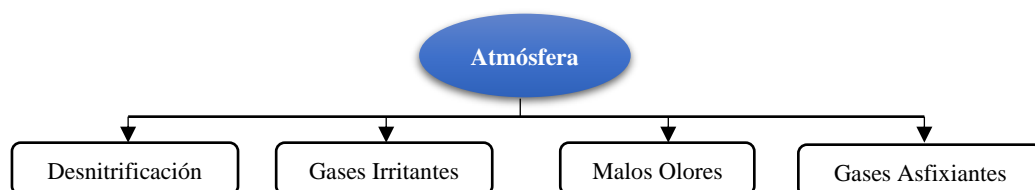
Debido a la asombrosa demanda de pollo por parte de los ecuatorianos, existe una sobreproducción de pollinaza. Se estima que un pollo puede producir de 80 a 100 g de estiércol por día (Manogaran et al. 2022), y si estimamos que el pollo de engorde permanece 42 días en el galpón antes de ser llevado al mercado, obtenemos 4.200 g de estiércol; si consideramos que típicamente 300 pollos por galpón se crían, se produce aproximadamente 1.260.000 gramos lo que equivale a 1.260 kg de estiércol por galpón.

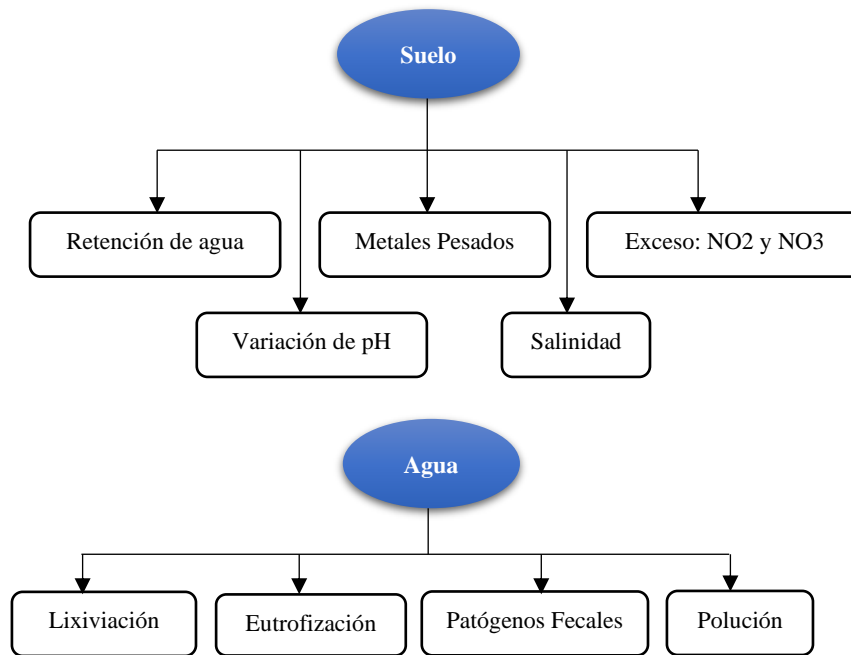
Evidentemente son cifras muy significativas, pero lo más inquietante es que estos residuos no se manejan de manera sostenible, por lo general la pollinaza es vendida a familias de las zonas aledañas a las granjas para usarse como abono para sus campos sin un tratamiento previo o permanecen en costales a un lado de las granjas hasta que puedan ser desechadas, lo cual es inconveniente para las personas por los olores desagradables que se producen. Por lo tanto, es recomendable que cada granja cuente con una compostera como uno de los métodos más recomendables para controlar los residuos generados, la cual debe ubicarse en un lugar ventilado y un poco alejado. Así, cuando sea vendido a los moradores ya tenga el correcto tratamiento que lo hace eficaz para uso agrícola.

#### 2.2.1.2 Efectos de la Pollinaza en el ambiente

La industria avícola produce grandes cantidades de pollinaza, sin embargo, el manejo inadecuado de estos residuos puede tener serios impactos ambientales, principalmente por la producción excesiva de amoníaco. Según (Valencia 2017, p. 10), el estiércol fresco de aves puede causar inestabilidad en el suelo, aumentar su pH y causar erosión. Por tanto, el compostaje es la forma más eficaz de prevenir las consecuencias tóxicas de los microorganismos patógenos en el suelo y los cultivos.

El impacto ambiental que puede generar el mal uso de los residuos avícolas pone en peligro a las personas ya que la contaminación puede afectar significativamente a los 3 recursos esenciales para la vida: agua, aire y suelo, como se puede apreciar en la siguiente figura.



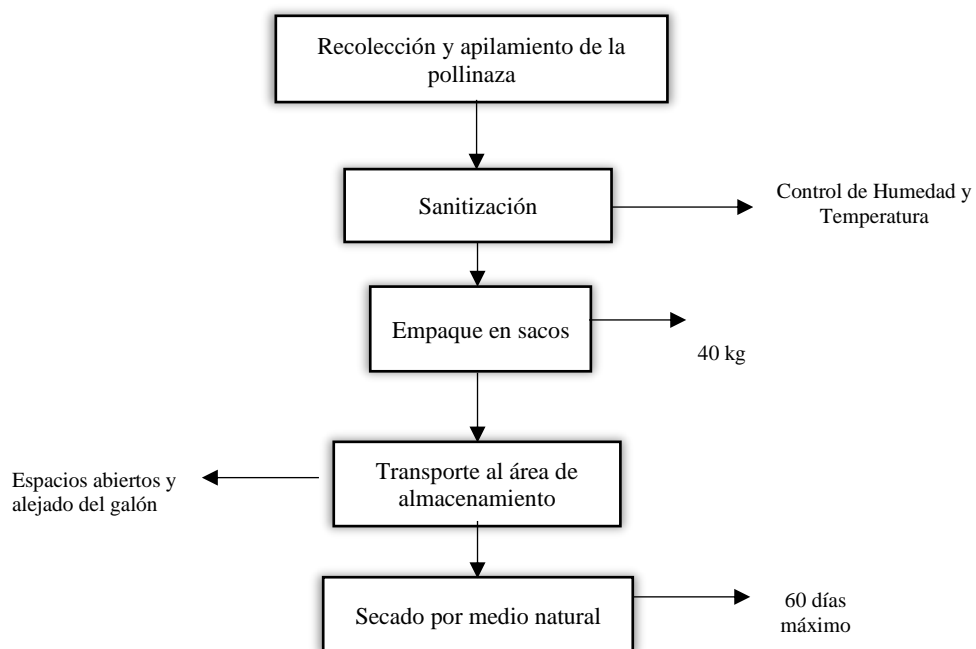


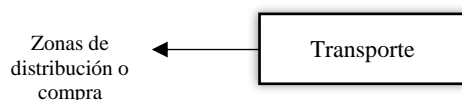
**Ilustración 2-3:** Efecto de los residuos avícolas en el ambiente

**Fuente:** (Rodríguez y Guerra 2020, p. 5)

**Realizado por:** Aguilar, J., 2023.

En el Ecuador no existe un método eficaz para el procesamiento y manejo de los residuos de las aves debido a falta de conocimiento o buenas prácticas ambientales para garantizar la correcta sanitización de estos residuos. Por lo general, el procesamiento de la pollinaza proveniente de los diferentes galpones que realiza el avicultor es el siguiente:





**Ilustración 2-4:** Diagrama de flujo del procesamiento de la pollinaza realizado por los avicultores

**Fuente:** (Cárdenas y Ortega 2010, p. 37)

**Realizado por:** Aguilar, J., 2023.

El método utilizado es económicamente viable, pero es ineficiente debido a la contaminación que produce, ya que el secado al ambiente es fuente de liberación de amoníaco, el cual produce un olor desagradable, dando lugar a la reproducción de moscas y a la contaminación del aire. Además, los microorganismos patógenos presentes en las heces no se eliminan por completo, por lo que su aplicación como fertilizante sigue siendo perjudicial.

Es importante tener en cuenta que el estiércol de las aves se apila lejos de los cobertizos para evitar la contaminación del área, pero están ubicados cerca de las casas o en zonas concurridas que pueden causar molestias a la multitud. Por lo tanto, es de gran importancia encontrar un método más eficiente para manejar el estiércol de aves de corral.

### 2.2.1.3 Calidad de la Pollinaza

De acuerdo con (Pérez, Céspedes y Núñez 2008, p. 15) el estiércol de ave de mejor calidad es la proveniente de gallinas ponedoras enjauladas debido a que estos residuos concentran un mayor nivel de N al no disponer de una cama como base, en cambio las aves criadas en piso tienen camas que absorben humedad y se mezcla con otros tipos de residuos.

Independientemente de esta comparación, la calidad de la pollinaza está influenciada por diversos factores de trascendental importancia, como lo indica (Sanchez 2022, p. 23), el avicultor debe tomar en cuenta estos componentes en el ciclo productivo de los pollos. En la presente tabla se mencionan los factores de calidad con su descripción:

**Tabla 2-1:** Factores de calidad de la pollinaza

Factor	Descripción
<b>Edad del ave</b>	Los pollos jóvenes (aprox. 7 semanas) producen menos cantidad de estiércol por la poca cantidad de alimento consumido.
<b>Tipo y consumo de alimento</b>	Buena calidad de alimentos en la dieta de los pollos, así mismo las deyecciones dependen de la cantidad de alimento que estas consuman.

<b>Residuos de alimento</b>	En el proceso de alimentación existen residuos que se desperdician y se depositan en la cama optimizando el estiércol.
<b>Temperatura</b>	Debe permanecer en una temperatura ambiente y un porcentaje de humedad de 40 a 60 % ya que las altas temperaturas generan grandes cantidades de gases produciendo un exceso de N.
<b>Ventilación</b>	Una apropiada aeración disminuye perdidas de N.
<b>Cantidad de plumas</b>	Las plumas contienen proteínas que proporcionan un valor agregado a la pollinaza.
<b>Tipo de cama</b>	Esencial para mantener un buen ambiente en los galpones, donde la principal característica es que sea adsorbente y aislante.

**Fuente:** (Sanchez 2022, p. 27)

**Realizado por:** Aguilar, J., 2023.

#### 2.2.1.4 Composición Química de la Pollinaza

La disponibilidad de componentes químicos que contiene la pollinaza es crítica, debido a que el valor del fertilizante depende del eminente contenido de nutrientes necesarios que las plantas requieren para crecer, puesto que los niveles de N, P y K varían de una muestra a otra dependiendo los diversos factores que se han asignado. De los factores mencionados anteriormente, el tipo de cama que utilice el avicultor es determinante a la hora de analizar el contenido de proteína que nuestro abono obtendrá, pero independientemente de cuál se utilice (Alvarado 1997, p. 2) afirma que la proteína se encuentra en un rango de 22.7 a 31.3%, así mismo sostiene que el 50% de N presente es proteína verdadera, elemento esencial para que las plantas puedan tener un buen desarrollo en su ciclo productivo.

**Tabla 2-2:** Composición química de la pollinaza

Composición	Porcentaje/unidades
Materia seca	84,7%
Proteína cruda	22,7-31,3%
Cenizas	15%
Nitrógeno	40-50%
Calcio	2,37%
Fósforo	1,8%
Magnesio	0,44%

Manganeso	225 mg/Kg
Sodio	0,54%
Potasio	1,70%
Cobre	98 mg/Kg

**Fuente:** (Ochoa y Urrutía 2007, p. 1)

**Realizado por:** Aguilar, J., 2023.

### 2.2.2 Harina de Hueso

La harina de hueso es un polvo fino de origen animal elaborado con los desechos producidos por la industria cárnica. La harina de hueso es una fuente de proteínas y minerales (Thomas y James 2002, p. 2) que se utiliza como fertilizante para plantas o como alimento para rumiantes.

Su principal utilización en la agricultura es por sus altos contenidos de Ca y P, elementos esenciales para el desarrollo de las plantas, además de que es de fácil acceso y su obtención es económicamente viable (Mahjoobin 2016b, p. 14).

Es importante mencionar que el contenido de estos elementos depende exclusivamente del tipo de hueso que se utilice, por lo general para la obtención de la harina se utiliza los huesos de bovinos. (Fernandez Ordoñez 2013, p. 14) señala que las cantidades de P serán bajas si se utilizan huesos planos (costillas, cabezas, etc.) a diferencia de huesos largos que concentran más porcentaje de este mineral.

Para la obtención de harina de hueso se pueden emplear diferentes técnicas que el autor considere necesaria, pero evidentemente la calidad y contenido de minerales dependerá de la técnica empleada. (Roa 2019, p. 2) menciona 3 técnicas principales para la obtención de la harina:

**1. Método de Huesos en Bruto:** Los huesos son cocinados a caldera abierta durante varias horas, el proceso hará que se desprenda grasas y restos cárnicos, pero la temperatura no es muy elevada por lo que el porcentaje de proteínas, Ca y P pueden ser deficientes. Luego del cocido se somete a un proceso de secado, molienda y finalmente tamizado (Roa 2019, p. 2).

**2. Método de Huesos al Vapor:** los huesos se limpian con agua caliente para *posteriormente añadir* Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> que eliminará residuos de carne y tejidos óseos. Continuamente son introducidos en una autoclave por un tiempo estimado de 8 h donde al finalizar se obtendrán huesos blancos, limpios y libre de microorganismos y bacterias; listos para secar, triturar y tamizar (Roa 2019, p. 2).



**3. Método de Huesos Calcinados:** al igual que la técnica 2 los huesos se limpian para ser llevados a una mufla donde son sometidos a temperaturas entre 600 y 800°C, al final obtenemos huesos frágiles que facilitan el proceso de molienda y tamizado (Roa 2019, p. 2).

Un aspecto relevante que se debe tomar en cuenta si se emplea cualquiera de estas 3 técnicas es garantizar que los huesos sean esterilizados, con ello aseguramos que la presencia de microorganismos peligrosos desaparezca. La composición que se estima obtener aplicando cada técnica se resume en la siguiente tabla:

**Tabla 2-3:** Elementos esenciales por cada método de obtención de harina de hueso

Composiciones aproximadas de los 3 métodos para obtención de harina de hueso			
Composición	Método 1	Método 2	Método 3
Calcio	23.05%	31%	35%
Fosforo	10.22%	15-17%	17-19%
Proteínas	26%	7.1%	2%
Grasa	5%	3.3%	-
Humedad	5%	3.5%	01-05%

Fuente: (Roa 2019, p. 4)

Realizado por: Aguilar, J., 2023.

Si analizamos los resultados expresados en la Tabla 4-2 se puede evidenciar que el método recomendado es el número 3, ya que los porcentajes de Ca y P son elevados garantizando un empleo eficaz como fertilizante; además de que es libre de microorganismos y malos olores por la correcta esterilización que se produce durante el proceso.

#### 2.2.2.1 Composición de la Harina de Hueso

La harina de huesos se utiliza como fuente de fertilizante orgánico porque contiene altos niveles de Ca y P, elementos que ayudan a que las plantas sean resistentes desde las raíces y estén libres de enfermedades y/o plagas.

(Ramos 2010, p. 15) señala que el fósforo juega un papel fundamental en el almacenamiento y transmisión de energía. Esta energía se obtiene a través de la fotosíntesis que realizan las plantas, y luego se acumulan en compuestos de fosfato, factor que utilizan las plantas durante el crecimiento y la reproducción, favoreciendo la lenta descomposición del fósforo y el calcio en el suelo y su liberación al ser absorbidos utilizando estos nutrientes durante todo el ciclo de vida de la planta.

**Tabla 2-4:** Composición química de la harina de hueso

Composición	Porcentaje
Materia seca	96%
Ca	37%
P	16%
Mg	0,4%
Na	0,6%
K	0,05%
Cenizas	70%

Fuente: (Ramos 2010, p. 15)

Realizado por: Aguilar, J., 2023.

#### 2.2.2.2 Método de conservación de huesos por $H_2O_2$

Parte fundamental para la elaboración de harina de hueso consiste en que las muestras no tengan ningún tipo de residuo o tejidos óseos, debido a que la presencia de dichos residuos durante la calcinación no garantiza la obtención de una harina de buena calidad.

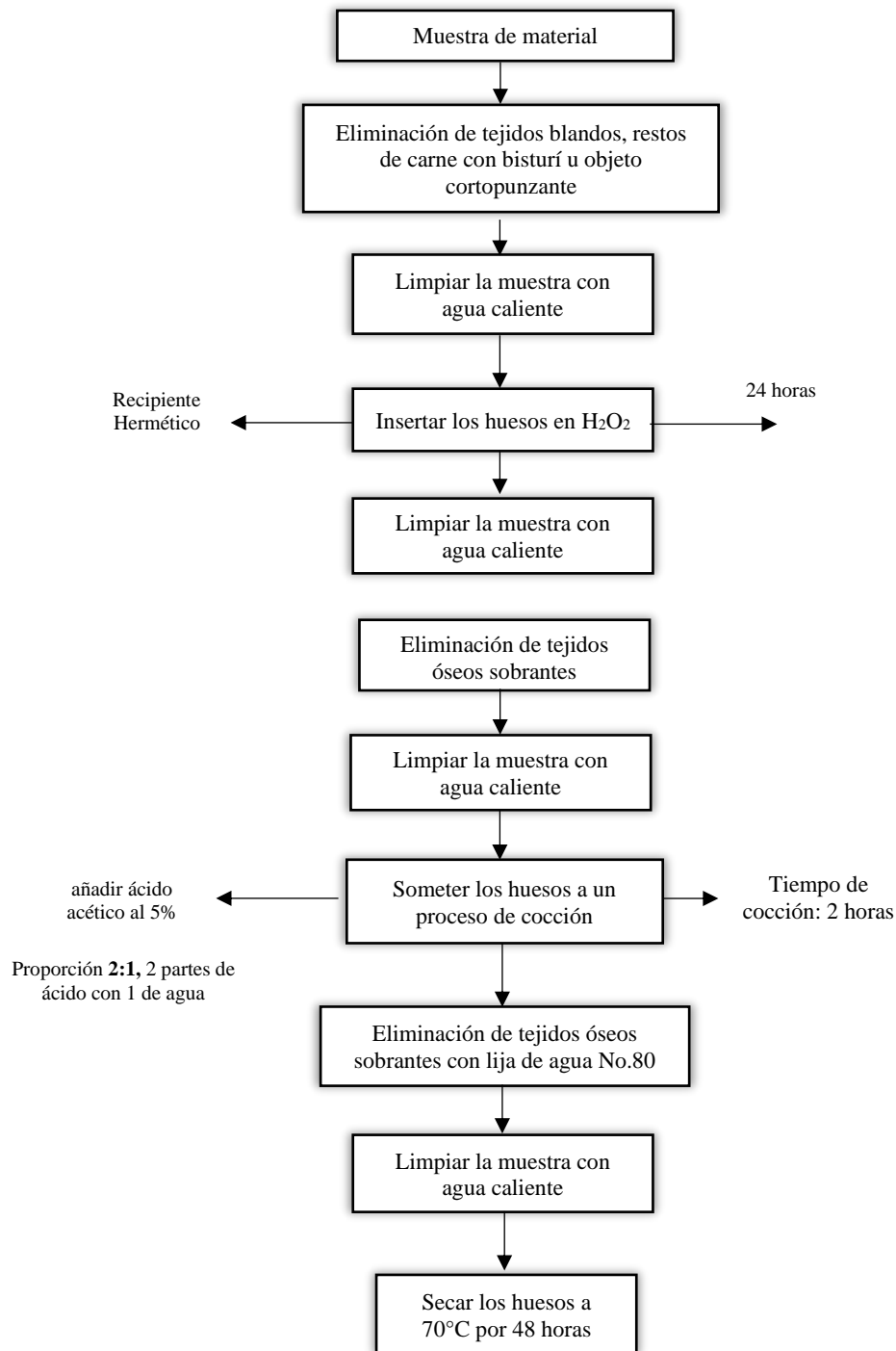
(Mahjoobin 2016b, p. 5) menciona que la harina de carne y hueso presenta porcentajes de calcio y fósforo menores a comparación de los expresados en la tabla 6-2, el calcio alcanza un valor de 10,3% y el fósforo 5,1%. Si comparamos los valores, existe un índice de diferencia muy notorio sobre la calidad de la harina de hueso y carne, mismos que no cumplen con los requisitos establecidos por la Norma Técnica Colombiana, es por ello por lo que se emplean algunas técnicas para tratar a los huesos antes del proceso de calcinación.

En el presente trabajo se empleó el método de conservación de huesos utilizando peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) por ser un método fácil, rápido y muy económico en comparación a otros métodos descritos como la utilización de Hipoclorito Sódico (lejía) o la maceración.

El  $H_2O_2$  se caracteriza por su poder oxidante ante la presencia de materia orgánica o algunos metales, por lo tanto, el principal uso se enfoca en la esterilización, haciéndolo muy útil en procesos de taxidermia para la conservación de huesos (Palomo y Zamora 2009, p. 3).

En lo que respecta al ácido acético (vinagre) presenta propiedades desinfectantes por lo que someter los huesos a cocción con este ácido permite eliminar grasas, bacterias y hongos durante la ebullición dejando a las muestras libres de suciedades y de olores desagradables, pero la desventaja que presenta es la liberación de gases que pueden resultar tóxicos por los fuertes olores, se recomienda hacer esta técnica en un área con ventilación.

La técnica para la conservación de huesos por  $H_2O_2$ , se describe en el siguiente diagrama de flujo:



**Ilustración 2-5:** Diagrama de flujo del tratamiento de huesos con  $H_2O_2$

**Fuente:** (Palomo y Zamora 2009, p. 5)

**Realizado por:** Aguilar, J., 2023.

La técnica puede tardar alrededor de 48 horas dependiendo la cantidad de muestra que se tenga, los resultados obtenidos son huesos libres de grasas y tejidos óseos, con un aspecto blanquecino libre de impurezas y malos olores, lo cual es perfecto para la obtención de harina que es utilizada

como fertilizante o alimento para ganado siempre y cuando cumpla con las normas establecidas por la NTC 657.

### 2.2.3 Ceniza de Madera

La ceniza de madera es el resultado de la combustión de especies forestales sometidas a temperaturas mayores de 400°C, el resultado es un polvo fino de coloración negra y gris con presencia de diferentes nutrientes como el P, K, Mg y Ca y también metales pesados en pocas cantidades (Merino 2001, p. 3).

Las cenizas presentan un elevado poder alcalino por lo que es empleado para disminuir la acidez que puedan presentar algunos suelos (Brandtberg et al. 2021, p. 3).

(Coarite 1986, p. 17) señala que la ceniza presenta algunas propiedades de relevancia como pueden ser:

**Tabla 2-5:** Propiedades de la ceniza de madera

Propiedad	Descripción
Químicas	<b>K<sub>2</sub>O:</b> 15,2% - <b>Ca:</b> 6,2% <b>pH:</b> 11 - <b>N:</b> 10-15% - <b>P:</b> 5%
Físicas	Consistencia blanda y aspecto de polvo fino

**Fuente:** (Coarite 1986, p. 17)

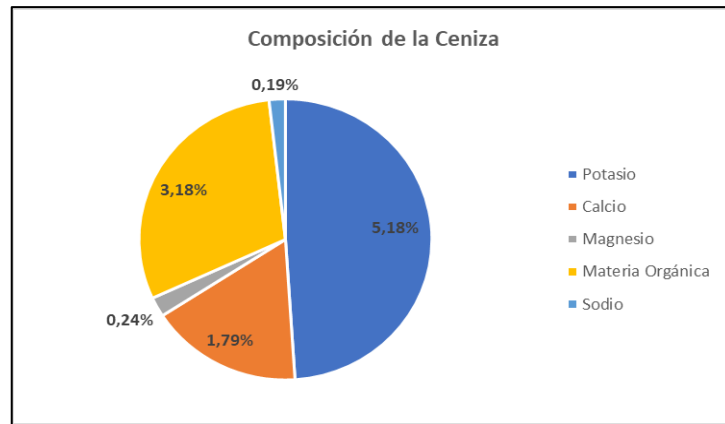
**Realizado por:** Aguilar, J., 2023.

(Omil 2007, p. 28) señala que la determinación de estas propiedades es muy complicada porque depende de una serie de factores como son: tipo de madera, edad del árbol, dureza, temperatura de combustión, tratamientos previos, tipo de caldera, etc.

Por otra parte (Hakkila 2002, p. 67) en su estudio sobre la función que cumplen las partes de los árboles, concluyó que, las ramas y raíces de las especies forestales presentan mayor riqueza en P, K y Mg a diferencia del tronco y cortezas del árbol.

#### 2.2.3.1 Composición de nutrientes en la ceniza de madera

Como se ha mencionado, determinar las propiedades químicas y físicas de las cenizas es un poco complejo, sin embargo, las investigaciones realizadas por (Coarite 1986, p. 59) en su estudio sobre los efectos de la ceniza en cultivos de tomate en la ciudad de La Paz, Bolivia obtuvo como resultado los siguientes datos:



**Ilustración 2-6:** Porcentajes de nutrientes que aporta la ceniza de madera

**Fuente:** (Coarite 1986, p. 59)

**Realizado por:** Aguilar, J., 2023.

La materia prima utilizada para la obtención de la ceniza fue la de pino y eucalipto en diferentes tratamientos, de forma general indica que el pH de la muestra fue de 11,09% lo que corresponde a un producto alcalino.

Observando los resultados se destaca el porcentaje de K presentado, siendo mayor a los otros nutrientes, enfatizando que el K es uno de los microelementos importantes y necesarios que las plantas necesitan para su óptimo desarrollo.

#### 2.2.3.2 Utilidad de la ceniza de madera como fertilizante

La utilización de la ceniza en la agricultura ha sido una técnica utilizada a lo largo de los años, donde los agricultores aprovechan los restos de la quema de biomásas para enriquecer el suelo y volver a sembrar. La reutilización de los espacios para siembra desencadena en una pérdida de nutrientes y aumento de acidez a lo largo de los años, por tal motivo la fertilización con cenizas es útil para equilibrar los aportes nutricionales del suelo, siendo eficaz por la presencia de elementos esenciales para el crecimiento de las plantas (Mahjoobin 2016a, p. 4).

El elemento que más destaca en las cenizas es el Potasio (K), macronutriente que ayuda a fortalecer a la planta desde la raíz y es eficaz en los procesos de fotosíntesis para un crecimiento óptimo y seguro. Cuando existe un déficit de K la planta se manifiesta en sus hojas y tallo, las cuales adquieren un color café, indicando que la planta está seca y/o quemada.

(Omil 2007, p. 34) en sus investigaciones hace una comparación de la fertilización con cenizas con los fertilizantes tradicionales de N, P y K donde el efecto de la ceniza sería en la proporción 0:1:3 (N:P:K) pero podría aumentar a la proporción 0:3:14, al reducir la temperatura de combustión

para la obtención de la ceniza, el K se volatiliza a temperaturas de 800-900°C (Maltas 2014, p. 10), por lo que el control de temperatura en este proceso es esencial para evitar la pérdida de este nutriente.

#### 2.2.4 Fertilizantes

Un fertilizante es un tipo de sustancia orgánica o inorgánica que proporciona a los cultivos los nutrientes necesarios para un óptimo crecimiento y desarrollo (Guzmán Flores 2018, p. 21), a su vez (IFA 1993, p. 3) indica que el uso de fertilizantes produce alimentos de mejor calidad y en mayor proporción, así como regenerar las características del suelo que han sido deteriorados. Los fertilizantes se caracterizan por los nutrientes presentes en su estructura, los mismos que se clasifican en:

**Macronutrientes:** son aquellos que se presentan en mayor cantidad, clasificando estos elementos en primarios (**N, P, K**) y secundarios (**Ca, Mg, S**) (Guzmán Flores 2018, p. 25).

**Micronutrientes:** (Álvarez-Solís et al. 2010, p. 4) señala que la adición de estos microelementos (**Fe, Mn, Cu, etc.**) son requeridos en pequeñas cantidades para el correcto crecimiento de las plantas, pero siguen siendo parte fundamental del ciclo de vida vegetal.

La Asociación Internacional de la Industria de los Fertilizantes (IFA) señala que más del 80% de agricultores utilizan fertilizantes ya sean químicos u orgánicos para mejorar las características del suelo y por ende la calidad de los cultivos (IFA 1993, p. 8); ya que, en suelos donde la fertilidad es baja, la adición de fertilizantes hace que los cultivos obtengan raíces más fuertes y firmes garantizando un buen desarrollo con los cuidados adecuados.

Al conocer la base de formulación de un fertilizante es importante comprender la función que desempeña cada elemento en la planta, así lo señala (IFA 1993, p. 14) lo cual se resumen en la siguiente tabla.

**Tabla 2-6:** Descripción de los elementos que constituye un fertilizante

Clasificación	Elemento	Descripción
Elementos Primarios	Nitrógeno (N)	Constituyente indispensable de proteínas, permitiendo la absorción de los otros nutrientes.
	Fósforo (P)	Esencial en el traspaso de energía por medio de la fotosíntesis.
	Potasio (K)	Activas enzimas que aumentan la tolerancia a sequías y enfermedades.
	Calcio (Ca)	Necesario para el crecimiento fuerte y óptimo de las raíces.

Elementos Secundarios	Magnesio (Mg)	Fundamento importante de la clorofila que permite a la planta captar la luz del sol y transformarla en energía.
	Azufre (S)	Constituyente indispensable de proteínas.

**Fuente:** (IFA 1993, p. 15–18)

**Realizado por:** Aguilar, J., 2023.

#### 2.2.4.1 Clasificación de los fertilizantes

##### Fertilizantes Químicos

Se caracterizan por su alto valor nutricional de N, P, K obtenidos por procesos industriales en industrias agroquímicas (Hakkila 2002, p. 115). Los fertilizantes químicos son lo más utilizados dentro de la agricultura por su alta rentabilidad, mejorando los suelos para el trabajo agrícola. Sin embargo, (Pérez, Céspedes y Núñez 2008, p. 12) sugiere que el uso y abuso de los agroquímicos ocasiona erosión a largo plazo y puede matar los cultivos y contaminarlos haciéndolos peligrosos para el consumo humano.

##### Fertilizantes Orgánicos

Constituyen aquellos fertilizantes que tienen su origen por la degradación de materia orgánica como: estiércol de animales, vegetales, pastos secos, etc. (Luna 2019, p. 2), cuya función radica en el aprovechamiento de los nutrientes y minerales que esta materia orgánica aporta para fertilizar los suelos de manera natural y ecológica.

(Hoyos y Godoy 2022, p. 5) indica que la utilización de fertilizantes orgánicos es un factor muy importante para el suelo debido a que todos los nutrientes que se obtienen fluyen de mejor manera en las plantas donde son aprovechados para el crecimiento y desarrollo de estas.

Es importante conocer las principales diferencias entre los dos tipos de fertilizantes para comprender las ventajas o desventajas que brindan al agricultor (Barrera Delgado 2017, p. 8).

**Tabla 2-7:** Principales semejanzas y diferencias de los fertilizantes orgánicos y químicos

Semejanzas y Diferencias	
Fertilizantes Orgánicos	Fertilizantes Químicos
Bajo contenido de nutrientes primarios: N, P, K	Su principal composición es: N, P, K y elementos secundarios como: Ca, Mg, Cu

Efecto prolongado y a largo tiempo	Efecto muy corto
Los nutrientes son aprovechables en acción lenta	Son elementos de acción rápida
Mejora las características del suelo	Aumenta la productividad, pero deteriora las características naturales de los suelos
Productos naturales de origen animal y vegetal	Son de origen sintético

**Fuente:** (Barrera Delgado 2017, p. 8)

**Realizado por:** Aguilar, J., 2023.

#### 2.2.4.2 Influencia sobre las características del suelo

Como base sustancial de las actividades agrícolas, el suelo es sin duda, uno de los principales recursos naturales (Perez 2006, p. 26). Los abonos orgánicos presentan determinada influencia sobre los efectos que pueden lograr en el suelo, principalmente preservar y restablecer la fertilidad.

Como se menciona, el impacto que tiene la fertilización orgánica sobre preservar las características del suelo se ve influenciado por factores como la cantidad de M.O, la actividad biológica y la erosión. Básicamente estos abonos actúan bajo 3 propiedades:

**Tabla 2-8:** Propiedades de los fertilizantes orgánicos en los suelos

Propiedades Físicas	Propiedades Químicas	Propiedades Biológicas
Su coloración oscura influye sobre la absorción de energía solar, lo cual ayuda a mantener temperatura estableces para la correcta absorción de nutrientes.	Incrementan el intercambio catiónico por lo que la fertilidad aumenta.	La actividad microbiana aumenta porque facilitan la aireación y oxigenación; así mismo, al ser una fuente de energía nutricional hace que los microorganismos se reproduzcan rápidamente.
Mejora la estructura y permeabilidad del suelo disminuyendo la erosión.	Desarrollo el poder de amortiguación del suelo ayudando a una estabilización del pH.	
Retiene el agua en el suelo, especialmente cuando llueve.		

**Fuente:** (García Vera 2012, p. 19)

**Realizado por:** Aguilar, J., 2023.







### 2.2.4.3 Importancia de los Fertilizantes Orgánicos

(Perez 2006, p. 42) menciona que es de suma importancia crear un sistema de producción orgánica para disminuir el uso de fertilizantes sintéticos salvaguardando así el medio ambiente y la salud humana, porque un cultivo bien nutrido es más resistente a cualquier plaga.

(Barrera Delgado 2017, p. 7) en su manual de buenas prácticas para la elaboración de abonos orgánicos, describe los beneficios que se obtienen cuando los agricultores optan por la utilización de una fertilización orgánica, por tal motivo, es importante destacar estos beneficios, los mismos que se expresan en la siguiente tabla:

**Tabla 2-9:** Beneficios de utilizar fertilizantes orgánicos

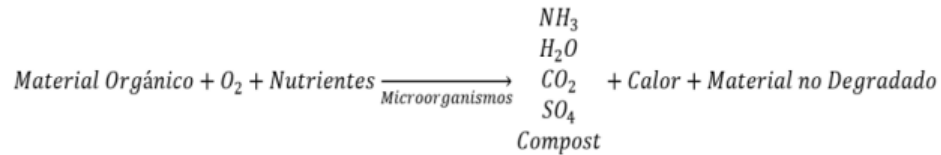
<b>Beneficios de una Agricultura Orgánica</b>	
Al pequeño productor 	Economía, trabajo responsable, ético y fácil acceso a la fertilización de los suelos.
A tu paladar 	Alimentos sanos, frescos y producidos naturalmente.
A tu salud 	Alimentos con aprovechamiento total de nutrientes sin peligro de agroquímicos.
Al medio ambiente 	Crea una agricultura sostenible reduciendo la contaminación de agua, suelo y aire.

**Fuente:** (Barrera Delgado 2017, p. 8)

**Realizado por:** Aguilar, J., 2023.

### 2.2.5 Compostaje

(Roman 2013, p. 25) define al compostaje como la combinación de materia orgánica en condiciones aeróbicas empleada para la mejora y aporte de nutrientes al suelo. El compostaje ha sido una técnica que sea desarrollo desde hace miles de años como una buena técnica agrícola. La descomposición de la materia orgánica se da lugar por la acción microbiana (Perez 2006, p. 36), por lo tanto, el proceso microbiano depende de factores esenciales que aumentaran la velocidad de degradación así como las características físico químicas del producto final.



**Ilustración 2-7:** Reacción química del proceso de compostaje

**Fuente:** (Bonev y Alexandrov 1993, p. 29)

Para que la materia orgánica se descomponga bajo óptimas condiciones es importante el desarrollo de temperaturas termofílicas (Gómez 2006, p. 33) , es decir, organismos que puedan soportar temperaturas mayores a 45°C, esta temperatura es resultado del proceso biológico desarrollado en el compostaje. El producto final se caracteriza por su estabilidad y libre de elementos patógenos.

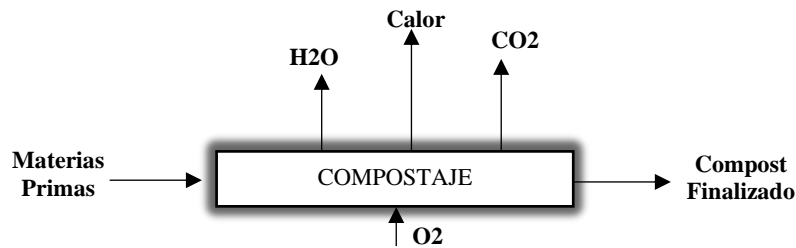
El compostaje a pesar de ser una técnica muy útil para la creación de abonos orgánicos requiere de mucho tiempo para que esté en óptimas condiciones, pues siguiendo los parámetros adecuados, en un periodo de 3 meses ya se obtendría un compost maduro.

(Roman 2013, p. 27) indica que hay 3 parámetros relevantes para reconocer un buen compost; el primero y más importante es su aspecto y olor, el cual debe ser de color oscuro y un olor agradable y fresco a tierra, si se obtiene un olor a tierra seca es porque el proceso está excesivamente descompuesto.

Otro factor importante es la humedad y textura, que se puede comprobar con la prueba del puño, tomando una muestra con nuestras manos y aplastar, si la apariencia de la muestra es suelta y granulosa, sin gotear humedad, son indicativos de que nuestro compost se ha convertido en un abono de buena calidad.

#### 2.2.5.1 Como preparar Compost

Para la preparación del compost se debe tomar en cuenta factores que ayuden a la rápida descomposición de la materia orgánica, por lo general el compost se le realiza en forma de pilas, contenedores o cajas de madera (pallets).



**Ilustración 2-8:** Esquema del proceso de compostaje

**Fuente:** (Roman 2013, p. 29)

**Realizado por:** Aguilar, J., 2023.

El (Ministerio de ambiente y medio rural marino 2010, p. 21) nos indica los siguientes pasos para la elaboración del compost:

- Seleccionar un área protegida de lluvia y sol, pero con buena ventilación alejada de áreas cerradas para evitar inconvenientes por malos olores, se debe seleccionar la materia orgánica a utilizar; por lo general se emplean restos orgánicos de legumbres y estiércol de animales.
- Para facilitar el proceso es recomendable que los restos orgánicos estén entre un rango de 0,5 a 1 cm de tamaño de partícula, por lo tanto, se debe picar todo resto orgánico a utilizar.
- Colocar la materia orgánica a descomponer en los recipientes o en forma de pila, humedecer la muestra aproximadamente un 50 - 60%, factor que se puede comprobar con la prueba del puño, si al tomar una muestra y apretarla con nuestras manos no gotea indica que está en buena humedad.
- Para acelerar el proceso microbiano es recomendable colocar plástico negro sobre la pila de compost para preservar la temperatura.
- Durante las siguientes semanas se debe hacer un control de temperatura, humedad y pH, además, es importante realizar el proceso de aireación unas 2 veces por semana para garantizar la presencia de oxígeno necesaria para que los microorganismos hagan su trabajo.
- Al seguir los pasos correctamente y realizar los respectivos controles de los parámetros señalados se garantiza que el resultado final sea un producto de buena calidad, sin embargo, el compost está propenso a sufrir alteraciones en el transcurso del proceso, lo cual retrasa el proceso de composición por tal motivo, es importante conocer los principales problemas que se pueden presentar.

**Tabla 2-10:** Problemas y soluciones durante la etapa de compostaje

Problema presentado	Posible Causa	Solución
La temperatura no aumenta a pesar de tener suficiente humedad	Falta de material	Añadir más material que queremos compostar y tapar con un plástico negro para conservar calor.
El compostaje está muy húmedo	Exceso de riego. Monto no protegido de lluvias	Sacar el montón, airear y aumentar material seco, como aserrín u hojarasca.
El compostaje está muy seco y no hay disminución de volumen	Ambiente muy seco. Exceso de materiales seco. Descuido del compostador	Regar la pila hasta humedad del 50 – 60% y aumentar material fresco a la pila.
Olor a putrefacción	Falta de oxígeno y exceso de humedad	Sacar el montón, airear y aumentar material seco, como aserrín u hojarasca
Presencia de larvas o moscas	Exceso de humedad	Aumentar material seco y tierra.


Fuente: (Ministerio de ambiente y medio rural marino 2010, p. 21)

Realizado por: Aguilar, J., 2023.

#### 2.2.5.2 Fases del Compost

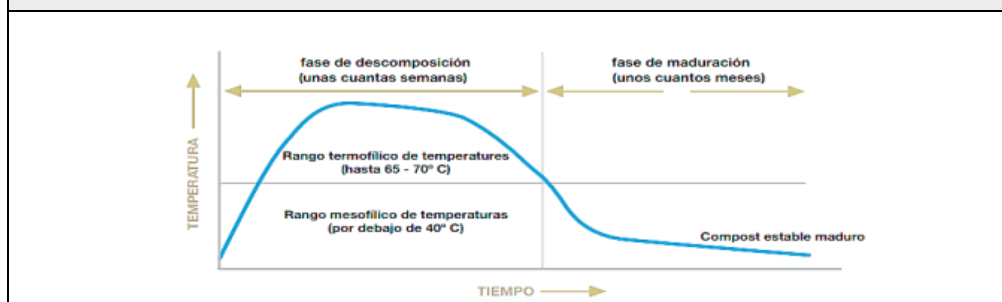
Desde que la materia orgánica ha sido aportada a la pila de compostaje, el proceso de descomposición empieza a trabajar por cuenta propia debido a los microorganismos presentes, estas 4 fases se caracterizan por los cambios de temperatura prolongados las cuales de detallan a continuación:

**Tabla 2-11:** Las 4 fases del proceso de compostaje

Aspecto	Fases	Descripción
	<b>Fase Mesófila o Descomposición</b>	Fase donde los microorganismos se adaptan a su nuevo medio y empiezan aprovechar las fuentes de C y N disponibles para generar calor y degradar los materiales más sencillos, la temperatura puede llegar hasta los 45 a 50°C

	<p><b>Fase Termófila o Higienización</b></p>	<p>Una vez que la temperatura empiece a sobrepasar los 45°C los microorganismos mesófilos dan paso a los microorganismos termófilos que pueden vivir a temperaturas mayores de 60°C, parte fundamental para la eliminación de bacterias dañinas.</p>
	<p><b>Fase de Enfriamiento o Mesófila II</b></p>	<p>Cuando los microorganismos termófilos han agotado todas las fuentes de C y N en la materia orgánica, dan paso nuevamente a los microorganismos mesófilos para que continúen con la degradación de materia a bajas temperaturas, 45 a 50°C.</p>
	<p><b>Fase de Maduración</b></p>	<p>Una vez que los microorganismos han hecho su trabajo consumiendo la mayor cantidad de energía, empieza una fase de fermentación de forma lenta, con un compostaje ya colonizado, los microorganismos empiezan a descomponer la materia de forma lenta y temperaturas bajas hasta obtener un residuo agradable y puro.</p>

**Diagrama simplificado de las 4 fases**



Fuente: (Gómez 2006, p. 31)

Realizado por: Aguilar, J., 2023.

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1 Enfoque del objeto de estudio

##### 3.1.1 Tipo de Estudio

El tipo de investigación es de carácter técnico-sistemático debido a la relación existente entre la investigación y experimentos teórico-prácticos, lo que garantiza la mejor obtención del producto final y a su vez su descripción detallada con los requisitos necesarios para su implementación, para ello se definen las variables y operaciones unitarias que intervienen en el proceso de obtención del producto.

##### 3.1.2 Enfoque de Investigación

La naturaleza de estudio se basa en la aplicación de 3 métodos científicos que garantizan la proporción de datos e información necesaria para la ejecución de los objetivos planteados.

**Método Deductivo:** Implica el conocimiento previo de procedimientos aplicados de manera industrial en la obtención del fertilizante, partiendo de distintas pruebas y experimentos a nivel de laboratorio donde podremos deducir conclusiones a partir de premisas planteadas. En la realización del proceso para la obtención del fertilizante orgánico se obtienen diferentes variables, parámetros y operaciones que se lleva a cabo dentro del proceso de producción.

**Método Inductivo:** A través de este método establecemos conclusiones en base a los resultados obtenidos en la ejecución de los experimentos, por tal motivo se conoce los procedimientos adecuados de aplicarse de manera industrial en la obtención del fertilizante orgánico, el cual parte de la recolección y tratamiento de la materia prima, posteriormente deben pasar por un riguroso control y caracterización físico-química y microbiológica que garanticen la calidad de la misma en base a lo establecido por la norma NTC 5167.

**Método Experimental:** Método elemental para la obtención del fertilizante a nivel de laboratorio, el mismo que proporcionará información adecuada para la utilización de equipos e instrumentos necesarios para la elaboración del producto final, el cual debe cumplir con los requisitos establecidos por las normativas vigentes.

### ***3.1.3 Nivel de Investigación***

El nivel de investigación está basado en el tipo exploratoria-descriptiva, al ser un estudio nuevo en cuanto a producción de fertilizantes orgánicos con la mezcla de distintas materias primas ricas en los elementos primarios y secundarios que requiere un fertilizante óptimo, debido a que es limitado encontrar información sobre otras investigaciones realizadas, por ello, el estudio está dirigido a explorar nuevas formas de producir un fertilizante ideal con materias primas de fácil alcance y como este influye en el ciclo de vida de las plantas y los beneficios que otorga a comparación de los fertilizantes tradicionales.

## **3.2 Ingeniería del proceso**

A continuación, se describe la metodología y los pasos específicos para el correcto y óptimo desarrollo del proyecto técnico.

### ***3.2.1 Procedimiento a nivel de laboratorio***

#### ***3.2.1.1 Elaboración de compost a base de Pollinaza***

##### **Obtención de la materia prima**

La adquisición del abono de pollo se realizó en la parroquia san Luis, a 15 minutos de la ciudad de Riobamba por la vía antigua; donde existe un centro de distribución y venta de pollinaza proveniente de las distintas granjas avícolas de la costa ecuatoriana. Este abono es acumulado en un terreno baldío sin tratamientos previos, se seleccionó 6 kg de abono fresco y originario de granjas de criaderos de pollos de engorde.



**Ilustración 3-1: Pollinaza**

**Realizado por:** Aguilar, J., 2023.

## Requerimiento de materiales y equipos

### Sustancias y Reactivos

- ✓ Agua
- ✓ Productos orgánicos (restos de fruta, hortalizas, leguminosas, etc.)
- ✓ Aserrín
- ✓ Hojarasca
- ✓ Suero de leche
- ✓ Pollinaza

### Equipos y Materiales

- ✓ Cajones de madera
- ✓ Balanza analítica
- ✓ Plástico negro
- ✓ Termómetro
- ✓ Cinta adhesiva
- ✓ Guantes
- ✓ Mascarilla

## Descripción del procedimiento

Como se mencionó en el capítulo I, no es recomendable aplicar la pollinaza directamente al suelo debido a que los altos niveles de amonio que contiene pueden quemar y dañar la planta, además de que es fuente de proliferación de moscas e insectos por el mal olor generado, por tal motivo se optó por elegir el compostaje como pretratamiento para la correcta descomposición del estiércol de ave.

### Elaboración de compostera

Para este proceso se ha elegido una caja de madera como contenedor del compost, cuyas dimensiones son 20 cm de ancho x 45 cm de largo y 30 cm de alto, forrada con plástico negro para evitar fugas por el espacio existente entre las tablas, así mismo se utiliza como material colector de calor adherido con cinta para evitar daños.





**Ilustración 3-2:** Composteras elaboradas

Realizado por: Aguilar, J., 2023.

### Preparación de tratamientos experimentales

Los tratamientos consisten en diferentes mezclas de pollinaza y materia orgánica, así como un activador microbiológico para acelerar el proceso de compostaje.

Los experimentos fueron distribuidos de acuerdo con un diseño al azar y 1 repetición en proporción 2:1. Las mezclas realizadas se presentan en la tabla 13-3.

**Tabla 3-1:** Descripción de los tratamientos experimentales del compostaje

No. de tratamiento	Sustrato	Cantidad (g)	Porcentaje
<b>1</b>	Pollinaza	1300	65%
	Aserrín	300	15%
	Restos de verduras y frutas	400	20%
<b>TOTAL</b>		<b>2000</b>	<b>100%</b>
<b>2</b>	Pollinaza	1500	66,67%
	Legumbres	200	8,89%
	Cáscara de huevo	100	4,44%
	Hojasasca	300	13,33%
	Restos de pasto, abono verde y verduras	150	6,67%
<b>TOTAL</b>		<b>2250</b>	<b>100%</b>
<b>3</b>	Pollinaza	875	50%
	Aserrín	237,5	13,57%
	Hojasasca	237,5	13,57%
	Restos de verduras	400	22,86%
<b>TOTAL</b>		<b>1750</b>	<b>100%</b>

Realizado por: Aguilar, J., 2023.

La hojarasca y aserrín fueron colocadas como fuente de C para contrarrestar los niveles de N que contiene la pollinaza; una vez seleccionada y pesada la materia prima procedemos a humedecer.

### Humedad

Parámetro esencial para la vida de los microorganismos, por ello se procedió a humedecer las muestras hasta un término medio.



**Ilustración 3-3:** humectación del compostaje

**Realizado por:** Aguilar, J., 2023.

Se realizó una "prueba de puño" para confirmar la hidratación adecuada, que consiste en tomar una pequeña muestra con la mano y apretarla. Si la muestra está compactada y no muestra signos de goteo, tiene el contenido de humedad correcto. Sin embargo, si el agua gotea cuando se presiona, esto indica un exceso de humedad, por lo que continuamos agregando más material seco para contrarrestar el exceso de humedad.

### Sellado de los cajones de madera

Se colocó los tratamientos en los cajones respectivamente, recubriendo la parte superior con plástico para garantizar que el compostaje se mantenga en condiciones ideales de temperatura.



**Ilustración 3-4:** Sellado hermético

**Realizado por:** Aguilar, J., 2023.

Una vez que se completa el proceso, los microorganismos comienzan a adoptar una nueva forma de vida y, en unas pocas horas y días, la temperatura comienza a subir a 45-50°C, lo que indica que ha iniciado la descomposición de la materia orgánica. El proceso debe estar estrictamente controlado: la temperatura, la humedad y la ventilación son una parte esencial del proceso por lo que se realizaron pruebas de temperatura y ventilación durante 15 minutos a horas fijas cada día.

Durante el proceso de desarrollo de los tratamientos experimentales las temperaturas bajas interfirieron con su correcto desempeño, por lo cual, para dar solución a este evento inesperado, las muestras fueron trasladadas a un invernadero de la “Facultad de Recursos Naturales” de la ESPOCH y recubiertas con dos capas de plástico.

A su vez se añadió un activador microbiológico preparado con suero de leche, melaza y microorganismos benéficos, con ello se garantiza un rápido crecimiento y trabajo de los microorganismos lo cual producirá el compost en un tiempo relativamente corto. Con el pasar de los días se observó que la temperatura estaba aumentando y se mantuvo en un rango de 45 a 55°C hasta finalizar la etapa mesófila I. El proceso de compostaje duró alrededor de 70 días, el producto final presentaba un color característico a tierra negra y olor agradable.



**Ilustración 3-5:** Compost obtenido

Realizado por: Aguilar, J., 2023.

Una vez finalizado el proceso de compostaje se realizaron pruebas de C y N a cada tratamiento en los laboratorios del grupo de investigación “GIDAC” obteniendo los siguientes resultados:

**Tabla 3-2:** Resultados de los tratamientos de compostaje realizados

Tratamiento	N	C	P	K	Relación C/N	Peso inicial (g)	Peso final (g)
1	0,92	10,79	0,44	0,75	11,72	2000	750
2	2,25	24,38	0,53	0,94	10,83	2250	1000
3	0,87	7,74	0,50	0,96	8,89	1750	500

Realizado por: Aguilar, J., 2023.

Se observa que el tratamiento No. 2 presenta mejores resultados en comparación al tratamiento 1 y 3 por lo cual se elige este abono como el óptimo para continuar con el proceso.

### Pesado

Se pesó 1000 g del T2 en una balanza para ser llevada al proceso de secado.



**Ilustración 3-6:** Pesado de compost

Realizado por: Aguilar, J., 2023.

### Secado

El secado se lo realizó en un secador de bandejas a condiciones de temperatura de 70°C por 24 horas, debido a que el estiércol de pollo se esteriliza a la temperatura mencionada, con ello garantizamos la eliminación total de patógenos en la muestra.

### Molienda

Finalizando el proceso de secado, la muestra es llevada a una licuadora para ser molida garantizando una buena reducción de partículas. El tiempo y cantidad de molido fue de 50 g cada 2 min.



**Ilustración 3-7:** Molienda de compost

**Realizado por:** Aguilar, J., 2023.

### Tamizado

Se empleó un tamiz No.35 (500  $\mu\text{m}$ ) y luego un tamiz No.80 (180  $\mu\text{m}$ ) para separar las partículas gruesas de las finas.



**Ilustración 3-8:** Tamizado de compost

**Realizado por:** Aguilar, J., 2023.

### Producto final

Los resultados obtenidos del compost a base de pollinaza se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 3-3:** Resultados obtenidos del compost

Resultado	
	<b>Peso inicial (g):</b> 1000
	<b>Peso secado (g):</b> 637,9
	<b>Peso compost final (g):</b> 448,6

Realizado por: Aguilar, J., 2023.

#### 3.2.1.2 Técnicas para caracterizar el compost obtenido de acuerdo con la norma NCH 2880

Las principales técnicas para la caracterización del compost a base de pollinaza se detallan a continuación:

**Tabla 3-4:** Determinación de humedad

Determinación de la Humedad	
Materiales y equipos	Sustancias y reactivos
Secador de bandejas Balanza analítica Termobalanza Recipiente de aluminio Desecador	Compost
Procedimiento	
<ul style="list-style-type: none"><li>• Para determinar la humedad se empleó el método gravimétrico que consiste en pesar aprox. 30-55 g de la muestra en la balanza analítica.</li><li>• Llevar al secador de bandejas a 70°C por 24 horas o realizar toma de muestras cada 30 min hasta obtener peso constante.</li><li>• Cuando la muestra esté seca llevar al desecador hasta temperatura ambiente y pesar en la balanza analítica.</li><li>• Para caracterizar los resultados de mejor manera se puede comprobar la humedad con la utilización de una termobalanza.</li><li>• Comparar y expresar resultados.</li></ul>	
Cálculos	

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{Peso muestra húmeda} - \text{Peso muestra seca}}{\text{Peso muestra húmeda}} \times 100$$

Fuente: (NCH-2880 2004, p. 14)

Realizado por: Aguilar, J., 2023.

**Tabla 3-5:** Determinación de pH

Determinación de pH	
Materiales y equipos	Sustancias y reactivos
Medidor de Ph Balanza analítica Vaso de precipitación 250 ml Agitador	Compost Agua destilada
Procedimiento	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calibrar el medidor de pH.</li> <li>• Pesar 10 g de la muestra, colocar en el vaso de precipitación y añadir 90 ml de agua destilada.</li> <li>• Mezclar por 10 min.</li> <li>• Dejar reposar la solución por 1 hora y luego medir el pH</li> </ul>	

Fuente: (NCH-2880 2004, p. 14)

Realizado por: Aguilar, J., 2023.

**Tabla 3-6:** Determinación de cenizas por el método de pérdida por volatilización

Determinación de cenizas	
Materiales y equipos	Sustancias y reactivos
Balanza analítica Mufla Desecador	Compost
Procedimiento	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pesar 6 g de muestra y llevar a la mufla por 4 horas a 650°C.</li> <li>• Esperar que la Temperatura descienda a 100°C y ser llevada a un desecador hasta alcanzar temperatura constante.</li> <li>• Pesar la muestra final y realizar el cálculo correspondiente.</li> </ul>	
Cálculos	
$\% \text{ cenizas} = \left[ \frac{\text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} \times 100 \right] \left[ \frac{100 - \% \text{ humedad}}{100} \right]$	

Fuente: (NCH-2880 2004, p. 16)

Realizado por: Aguilar, J., 2023.

**Tabla 3-7:** Determinación de la densidad

Determinación de la densidad	
Materiales y equipos	Sustancias y reactivos
Balanza analítica Probeta	Compost
Procedimiento	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Depositar la muestra en una probeta hasta completar 30 ml.</li> <li>• Pesarse la cantidad de compost insertada en la probeta.</li> <li>• Realizar los cálculos correspondientes.</li> </ul>	
Cálculos	
<p style="text-align: center;">densidad real en base seca <math>\frac{g}{cm^3} = \left[ \frac{W_2 - W_1}{V} \right]</math></p> <p><b>Donde:</b>  <math>W_1</math> = peso en g probeta vacía.  <math>W_2</math> = peso en g probeta con muestra.  <math>V</math> = volumen ocupado por el material en la probeta (<math>cm^3</math>)</p>	

Fuente: (NCH-2880 2004, p. 16)

Realizado por: Aguilar, J., 2023.

**Tabla 3-8:** Determinación de capacidad de retención de agua

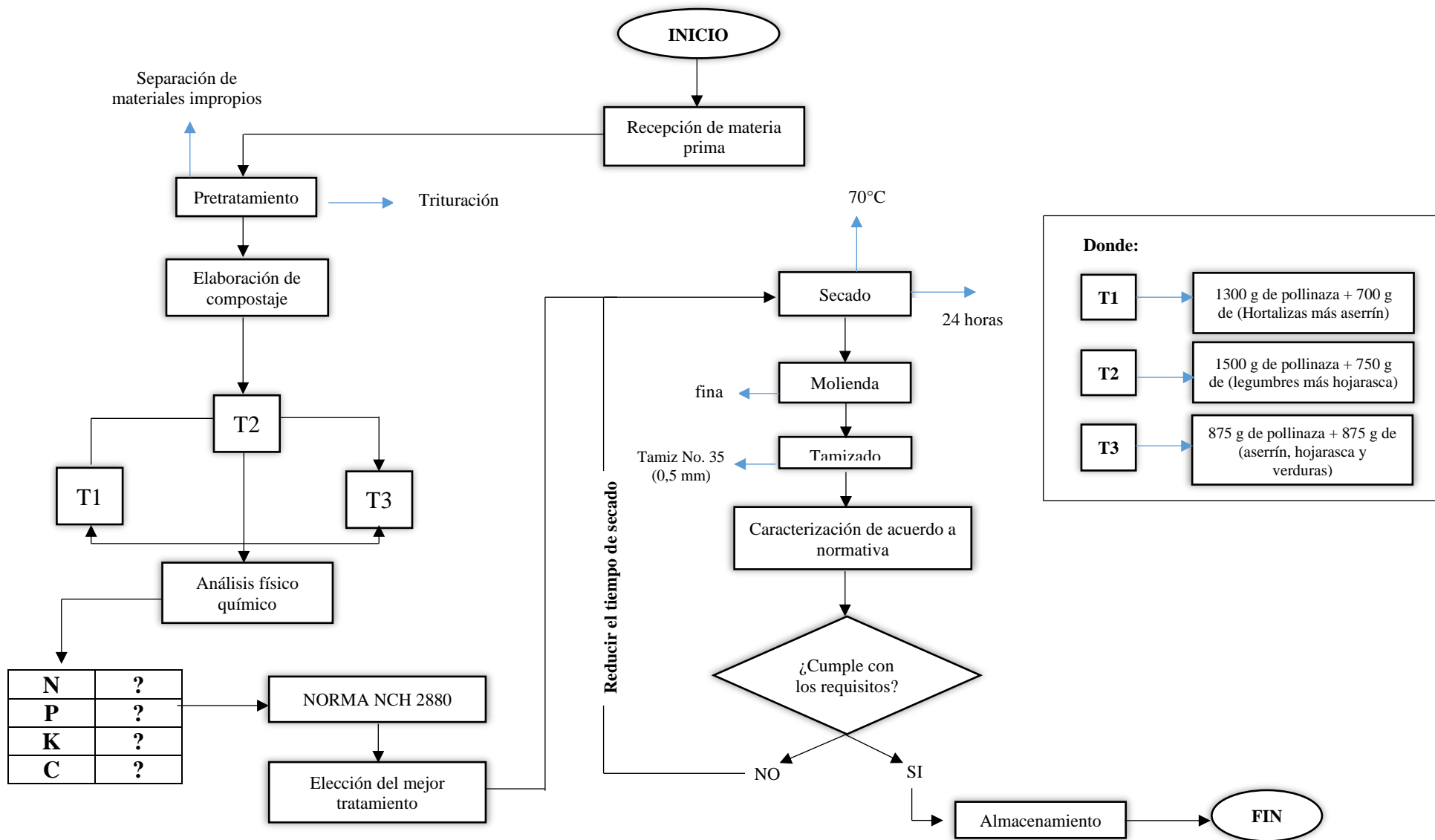
Determinación de capacidad de retención de agua	
Materiales y equipos	Sustancias y reactivos
Balanza analítica Vaso de precipitación Agitador	Compost Agua destilada
Procedimiento	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pesarse 21 g de la muestra y adicionar agua destilada lentamente y agitar con una varilla de vidrio.</li> <li>• Agitar hasta observar una superficie brillante, indicativo del punto máximo de saturación.</li> <li>• Realizar los cálculos correspondientes.</li> </ul>	
Cálculos	
<p style="text-align: center;">% saturación = <math>\left[ \frac{A \times 100}{W_m} \right] \left[ \frac{100 - \% \text{ humedad}}{100} \right]</math></p> <p><b>Donde:</b>  <math>A</math> = volumen utilizado en ml.  <math>W_m</math> = peso en g de la muestra.</p>	

Fuente: (NCH-2880 2004, p. 18)

Realizado por: Aguilar, J., 2023.

## 3.2.1.3 Flujograma del proceso de elaboración de compost





**Ilustración 3-9:** Diagrama de flujo para la preparación de compost a base de pollinaza

Realizado por: Aguilar, J., 2023.

### 3.2.1.4 Elaboración de harina de hueso de res

#### Obtención de la materia prima

Los huesos de bovino fueron proporcionados por la carnicería “La Finca” ubicada en la Panamericana Sur Km 1 ½ vía a la costa, diagonal a la gasolinera de la ESPOCH. Se adquirieron 7,5 kg de hueso para iniciar con el procedimiento.



**Ilustración 3-10:** Tienda de cárnicos “La Finca”

Realizado por: Aguilar, J., 2023.

#### Requerimiento de materiales y equipos

##### Sustancias y Reactivos

- ✓ Peróxido de Hidrógeno al 3%
- ✓ Ácido Acético al 5%
- ✓ Agua
- ✓ Huesos de res

##### Equipos y Materiales

- ✓ Lija de agua No. 80
- ✓ Balanza analítica
- ✓ Olla de cocción
- ✓ Mufla
- ✓ Secador de bandejas
- ✓ Mortero con pistilo
- ✓ Bisturí

- ✓ Tamiz No. 35
- ✓ Guantes
- ✓ Mascarilla

### Descripción del procedimiento

#### Tratamiento de Huesos con $H_2O_2$

El agua oxigenada tiene un fuerte poder oxidante sobre cualquier residuo orgánico, por ello se eligió este tratamiento por su eficacia y economía, garantizando que los huesos estén limpios para obtener harina de buena calidad.

#### Primera etapa

Con ayuda de un bisturí se retiró todo material cárnico presente en los huesos con el objetivo de facilitar el trabajo que realizará el peróxido de hidrógeno, luego son lavados con agua caliente para limpiar las muestras.



**Ilustración 3-11:** Limpieza y desinfección de los huesos

**Realizado por:** Aguilar, J., 2023.

#### Segunda etapa

Colocamos los huesos dentro del recipiente hermético previamente cortados y se adicionó 6 litros de  $H_2O_2$  asegurándose que cubra totalmente los huesos, se procedió a cerrar el tanque y dejar reposar la muestra por 24 horas.



**Ilustración 3-12:** Acción del  $H_2O_2$  en el hueso

**Realizado por:** Aguilar, J., 2023.

#### Tercera etapa

Pasada las 24 horas los huesos son retirados y lavados con agua caliente, seguidamente son colocados en una olla de cocción y se agregó ácido acético y agua en proporción 2:1. Los huesos son cocidos por 2 horas a una temperatura aproximada de 90°C.

#### Cuarta etapa

Se dejó enfriar los huesos a temperatura ambiente para proceder a retirar residuos con ayuda del bisturí hasta que queden totalmente limpios. Se empleó la lija de agua No. 80 para ayudar a retirar todo tejido blanco de los huesos, luego limpiamos con agua caliente. Terminado el tratamiento los huesos fueron llevados al laboratorio para continuar con el procedimiento de obtención de harina.



**Ilustración 3-13:** Huesos finales

**Realizado por:** Aguilar, J., 2023.

### Secado

Llevamos los huesos al secador de bandejas por 48 horas a una temperatura de 75°C con el objetivo de eliminar grasas presentes en las muestras.

### Calcinación

Primero los huesos fueron calcinados en un horno fundidor a 400 °C por 2 horas hasta convertirse en carbón, etapa donde se desprenden gases produciendo malos olores; seguidamente fueron llevados a una mufla a una temperatura de 750°C durante 3 horas hasta su calcinación completa donde los huesos se tornaron a un color blanquecino.



**Ilustración 3-14:** Calcinación en mufla

Realizado por: Aguilar, J., 2023.

### Triturado

Los huesos calcinados presentan una coloración blanquecina y una dureza aproximada de 2, lo que los hace fáciles de triturar. Se empleó un mortero con pistilo para realizar el proceso.



**Ilustración 3-15:** Triturado en mortero


Realizado por: Aguilar, J., 2023.

## Tamizado

Una vez triturada la muestra se pasó por un tamiz Tamiz No. 35 (500 µm) y Tamiz No. 80 (180 µm) garantizando el tamaño óptimo de la harina de hueso final.

## Producto final

**Tabla 3-9:** Resultados obtenidos de la harina de hueso

Resultado	
	<p><b>Peso inicial (kg): 7,5</b></p> <p><b>Peso tratamiento con H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (g): 6067,5</b></p> <p><b>Peso secado (48 h): 4517,5 g</b></p> <p><b>Peso harina final: 2258 g</b></p>

Realizado por: Aguilar, J., 2023.

### 3.2.1.5 Técnicas para caracterizar la harina de hueso.

**Tabla 3-10:** Determinación de grasas totales

Determinación de grasas	
Materiales y equipos	Sustancias y reactivos
Secador de bandejas Soxhlet Balanza analítica Desecador	Harina de hueso
Procedimiento	
<ul style="list-style-type: none"><li>• Lavar el balón del Soxhlet y secarlo en la estufa calentada a 150°C, por dos horas.</li><li>• Transferir el balón al desecador y pesar cuando este a temperatura ambiente.</li><li>• Pesar aproximadamente 5 g. de la muestra triturada y colocar en un dedal de papel.</li><li>• Introducir el dedal con la muestra en el sifón y colocar 100 ml de hexano.</li><li>• Finalizada la extracción recuperar el disolvente por destilación en el mismo aparato y eliminar los restos de disolvente a baño maría.</li><li>• Colocar el balón con grasa en la estufa a 100°C por 30 minutos y enfriar en el desecador hasta temperatura ambiente y pesar.</li></ul>	
Cálculos	

$$G = \frac{(m_2 + m_1) - m_v}{m} \times 100$$

Dónde:

$G$  = contenido de grasa

$m$  = masa de la muestra seca en g

$m_1$  = masa de la grasa seca en g

$m_2$  = masa final del balón en g

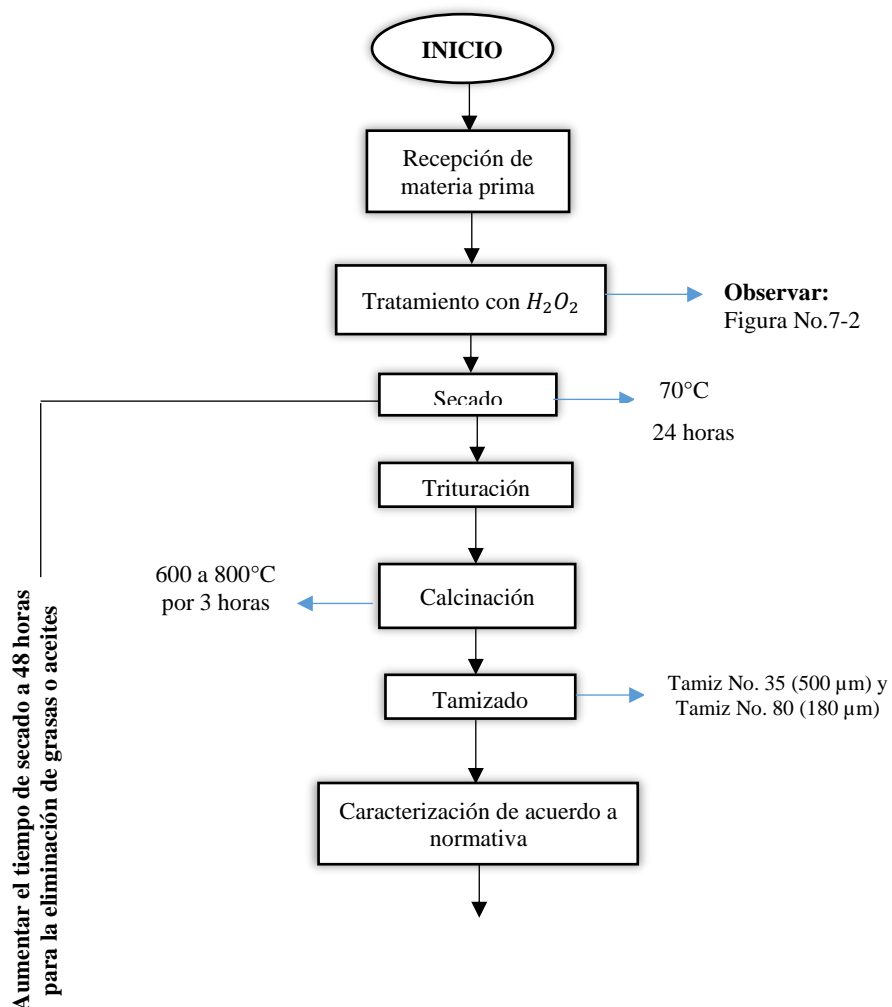
$m_v$  = masa del balón vacío en g

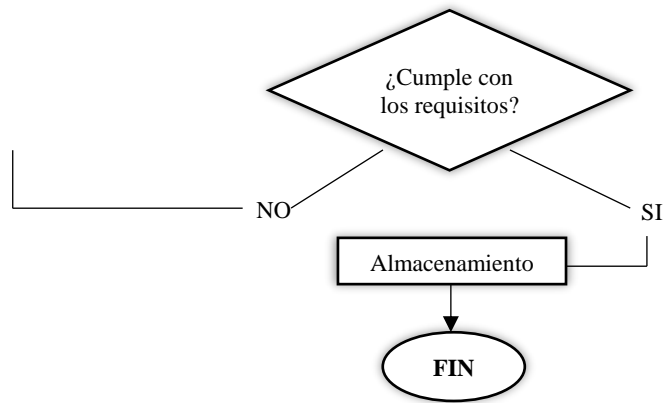
Fuente: (NTC-657 1984, p. 4)

Realizado por: Aguilar, J., 2023.

La determinación del pH se realiza con la técnica anteriormente descrita en la tabla 20-3 y la humedad se analiza en la termobalanza.

### 3.2.1.6 Flujograma del proceso de elaboración de ceniza de hueso.





**Ilustración 3-16:** Diagrama de flujo para la preparación de harina de hueso

Realizado por: Aguilar, J., 2023.

### 3.2.1.6 Elaboración de ceniza de madera a base de eucalipto

#### Obtención de la materia prima

La madera fue proporcionada por trabajadores internos de la ESPOCH quienes realizaron aserríos de árboles de eucalipto, materia prima óptima por su dureza y fácil adquisición, se seleccionó madera fresca y libre de tratamientos.



**Ilustración 3-17:** Obtención de madera

Realizado por: Aguilar, J., 2023.

#### Requerimiento de materiales y equipos

##### Sustancias y Reactivos

- ✓ Troncos de madera de eucalipto



## Equipos y Materiales

- ✓ Balanza analítica
- ✓ Horno fundidor
- ✓ Secador de bandejas
- ✓ Mortero con pistilo
- ✓ Hacha
- ✓ Tamiz No. 35
- ✓ Guantes
- ✓ Mascarilla

## Descripción del procedimiento

### Triturado

Se procede a triturar la madera con el objetivo de agilizar el proceso de calcinación, para ello se reduce el tamaño de los troncos entre 3 a 8 cm.



**Ilustración 3-18:** Triturado de madera

**Realizado por:** Aguilar, J., 2023.

### Secado

La madera es limpiada y llevada al secador de bandejas a 75°C por 48 horas para reducir el porcentaje de humedad presente en la muestra.

### Calcinación

La calcinación se la realizó en 3 etapas; al ser un residuo lignocelulósico contiene en su estructura aceites y humedad por lo que es recomendable la eliminación de estos componentes antes de la

conversión en ceniza, para ellos se somete la madera a 100°C por un tiempo aproximado de 30 min en los que se garantiza la eliminación de humedad, seguidamente se aumenta la temperatura a 200 – 300°C con lo cual se eliminan aceites en un tiempo de 1 hora, por último aumentamos la temperatura de 400 a 500°C por un tiempo aproximado de 2 horas para la obtención de cenizas.



**Ilustración 3-19:** Calcinación en el horno fundidor

Realizado por: Aguilar, J., 2023.

### Tamizado

Las cenizas son llevadas a un tamiz No. 35 con lo cual garantizamos la obtención de un polvo fino listo para aplicarse en cultivos.

### Producto final

Los resultados obtenidos de la ceniza de madera se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla 3-11:** Resultados obtenidos de la harina de hueso

<b>Resultado</b>	
	<p><b>Peso inicial:</b> 5 kg</p> <p><b>Peso secado (48 h):</b> 4535,6 g</p> <p><b>Peso ceniza:</b> 2000 g</p>

Realizado por: Aguilar, J., 2023.

### 3.2.1.7 Técnicas para caracterizar la ceniza de madera

No existe una normativa que detalle específicamente los requerimientos necesarios para la caracterización fisicoquímica de la ceniza de madera, por ello se compara con estudios anteriores de fuentes primarias para su objetividad.

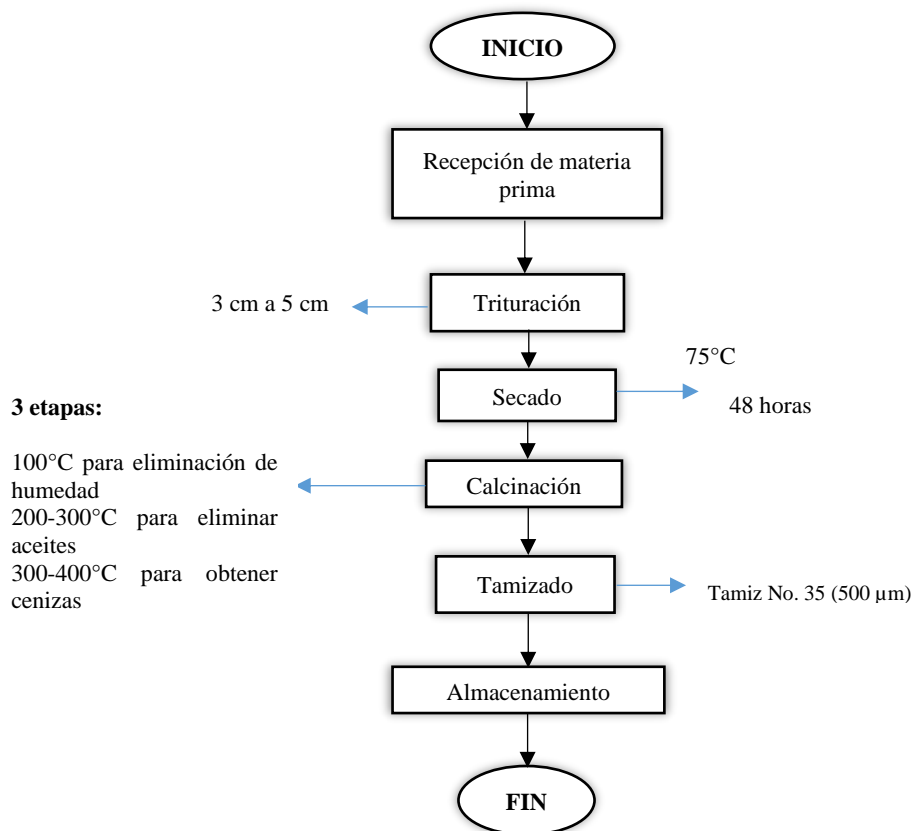
**Tabla 3-12:** Requisitos mínimos de caracterización para ceniza de madera

Requisitos	Mínimo	Máximo
pH	> 4 y < 9	-
Humedad	-	1%
Materia Orgánica	-	0,5%
Densidad	-	500-600 Kg m3
Carbono	-	-
Potasio	10%	-

Fuente: (Omil 2007, p. 116)

Realizado por: Aguilar, J., 2023.

### 3.2.1.8 Flujo de proceso de elaboración de ceniza de madera



**Ilustración 3-20:** Diagrama de flujo para la obtención de ceniza de madera

Realizado por: Aguilar, J., 2023.

### 3.2.2 Formulación del fertilizante orgánico NPK

La presente invención proporciona tres fuentes secas además de aditivos orgánicos que contienen todos los componentes necesarios para estimular el crecimiento de las plantas. La formulación del fertilizante de esta invención proporciona un efecto determinante significativo ya que elimina la necesidad de mezclar nutrientes secos y/o líquidos y otros aditivos durante la aplicación.

Se realizó la combinación en concentraciones diferentes de las materias primas anteriormente descritas, con el objetivo de lograr una concentración adecuada de N, P, K así como la presencia de elementos secundarios (Ca, Mg) y oligoelementos necesarios que hará de nuestro fertilizante óptimo, práctico y eficaz para el desarrollo de las plantas.

Para la formulación del fertilizante se partió como referencia el compost obtenido, de acuerdo con los niveles de N, P, K que presentó, se adicionó las demás materias primas para aumentar los niveles de macronutrientes correspondientes. Para ejecutar la formulación de manera adecuada se realizó el análisis de la materia prima para conocer la concentración de los elementos presentes en las muestras; los resultados del estudio se presentan en la siguiente tabla:

**Tabla 3-13:** Concentraciones elementales porcentuales de la materia prima

ANÁLISIS ELEMENTAL DE LA MATERIA PRIMA						
Elemento	COMPOST		HUESO		CENIZA	
	mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%
<b>N</b>	5,644	2,25	3,814	1,525	2,827	1,1308
<b>P</b>	1,329	0,5316	24,776	9,910	3,65	1,306
<b>K</b>	-	0,94	-	0,5	-	3,39
<b>Ca</b>	-	1,14	-	12,5	-	0,47
<b>Mg</b>	-	0,69	-	0,46	-	1,59

Realizado por: Aguilar, J., 2023.

Con los resultados mostrados en la Tabla 26-3 se establecen los criterios para la estandarización de la fórmula; por lo cual partimos de 5g del compost, valor que permanece estable y se aumentó las demás materias primas conforme se mostraba la variación de los elementos en la formulación establecida. Los resultados se expresan en la siguiente tabla:

**Tabla 3-14:** Formulaciones establecidas del fertilizante

Formulación	Hueso	Compost	Ceniza	Unidad
<b>F1</b>	2	5	2	g

<b>F2</b>	3	<b>5</b>	2	g
<b>F3</b>	4	<b>5</b>	3	g
<b>F4</b>	4	<b>5</b>	4	g

Realizado por: Aguilar, J., 2023.

Las formulaciones establecidas fueron analizadas en el laboratorio de instrumental de la “ESPOCH” dando como resultado los siguientes valores.

**Tabla 3-15:** Concentraciones elementales finales de las formulaciones

ANÁLISIS DE LAS FORMULACIONES ESTABLECIDAS								
Elemento	F1		F2		F3		F4	
	mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%
<b>N</b>		4,905		10,68		10,76		10,74
<b>P</b>		10,44		11,39		11,43		11,41
<b>K</b>	-	4,83	-	5,33		5,94		6,03
<b>Ca</b>	-	12,59	-	13,01		13,64		13,6
<b>Mg</b>	-	2,74	-	2,876		3,41		3,61

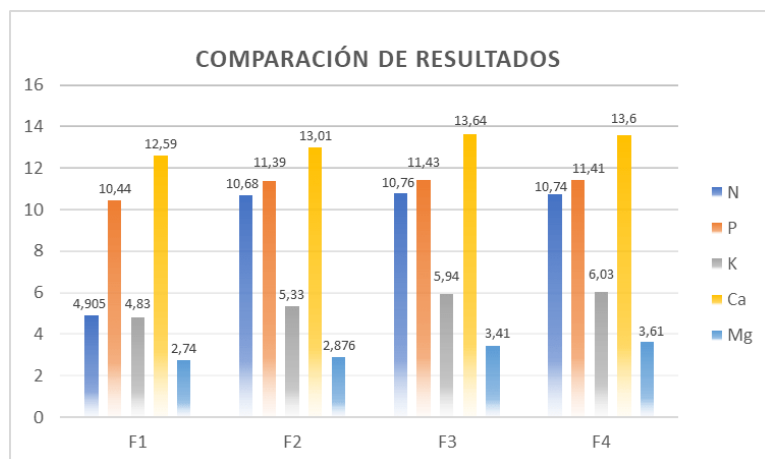
Realizado por: Aguilar, J., 2023.

Los resultados expresados en la tabla anteriormente descrita presentan los porcentajes totales de los elementos presentes en las distintas mezclas, con la adición de hueso, compost y ceniza en concentración 2-5-2 se notó un aumento significativo de fósforo (P) y Calcio (Ca) con un 10,44 y 12,59% respectivamente, para la concentración 3-5-2 en F2 se notó un incremento prolongado de Nitrógeno (N) pasando de 4,905 a 10,68% debido a la adición de aditivos orgánicos (harina de sangre y soya) enmiendas orgánicas que se emplearon como una investigación adicional para evaluar si su adición aumenta o no los niveles de N, en el caso de P, K, Ca y Mg se tuvo un promedio de aumento de 0,5% respectivamente.

En la F3 (4-5-3) los niveles de nitrógeno (N), fósforo (P), Calcio (Ca) se mantenían estableces al no tener un aumento significativo, el potasio (K) aumentó 0,6% y el magnesio (Mg) 0,53%.

Y en la última formulación (4-5-4) no se notó incremento significativo en todos los elementos, a excepción del K y Mg que tuvieron un aumento de 0,09 y 0,2% respectivamente por lo cual se consideró una estabilización en las concentraciones aportadas por formulación.

En el gráfico de barras 4-3 se presenta una comparación de resultados de los niveles porcentuales obtenidos en las pruebas analíticas realizadas en el laboratorio de la institución.

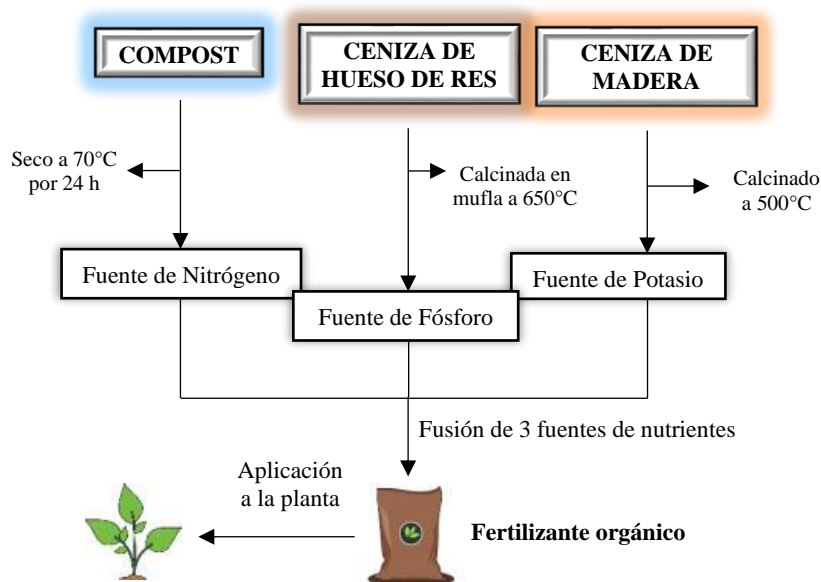


**Ilustración 3-21:** Resultados porcentuales de las formulaciones realizadas

Realizado por: Aguilar, J., 2023.

Con las debidas comparaciones realizadas se seleccionó la **F3** (4-5-3) como la formulación final del fertilizante orgánico con concentraciones de 10,76% de nitrógeno (N), 11,43% de fósforo (P), 5,94% de potasio (K), 13,64 de Calcio (Ca) y 3,41% de magnesio (Mg).

A continuación, se presenta un resumen de las fuentes de elementos empleadas para la formulación del fertilizante.



**Ilustración 3-22:** Fuentes de materia prima para la elaboración del fertilizante

Realizado por: Aguilar, J., 2023.

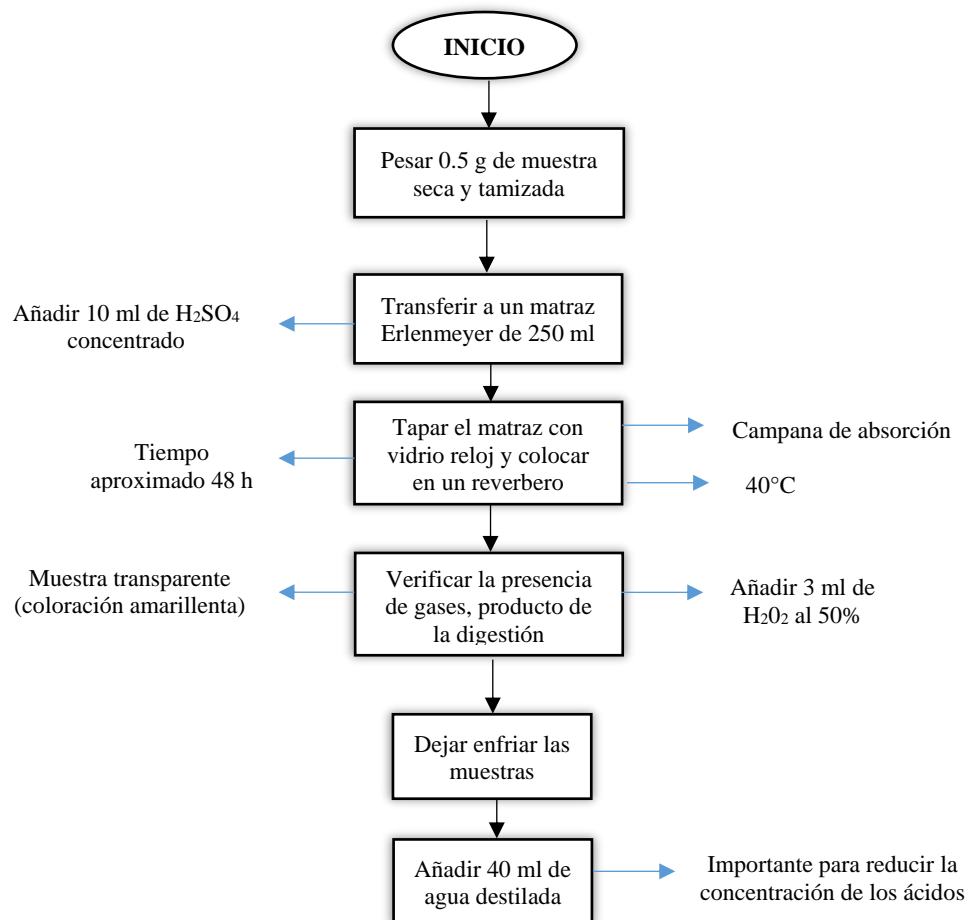
### 3.2.2.1 Caracterización del fertilizante orgánico NPK obtenido

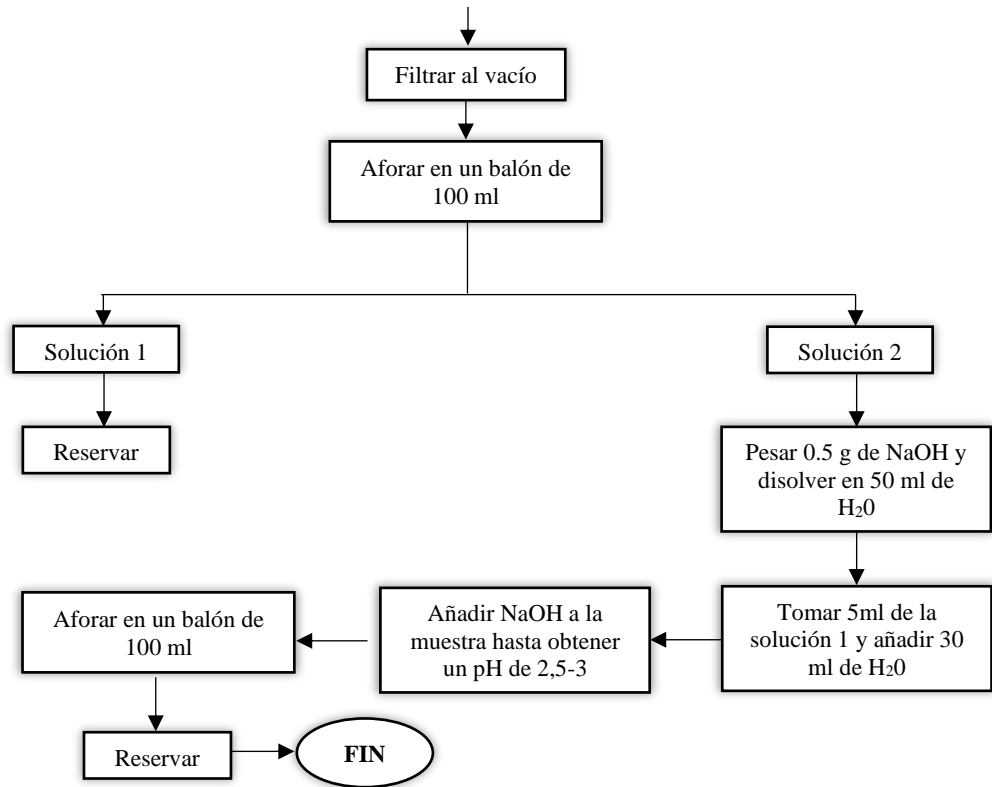
La caracterización se realizó por colorimetría empleando el Espectrofotómetro UV-Visible del laboratorio de instrumental de la “Facultad de Ciencias”. Antes de la determinación de los elementos totales es importante preparar la muestra por medio de una digestión, para ello se emplea  $H_2SO_4$  concentrado para destruir la materia orgánica.

El  $H_2SO_4$  tiene capacidad oxidante por lo cual al someter la muestra a calentamiento desprende gases que se disocian en forma de Óxido de Azufre ( $SO_3$ ) y  $H_2O$  con ello los minerales que contiene la muestra se separan pasando a la solución por lo que los elementos se pueden determinar de forma independiente.

A continuación, se presentan diagramas de flujos del procedimiento realizado para la determinación de los elementos totales.

### 3.2.2.2 Digestión de las muestras con $H_2SO_4$

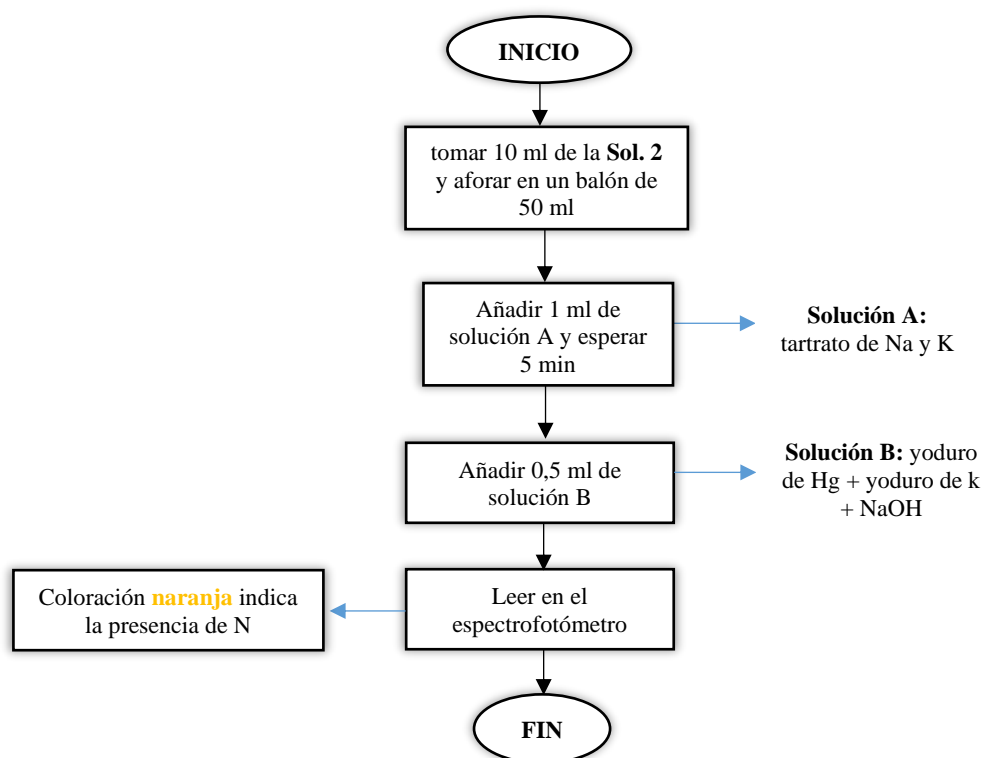




**Ilustración 3-23:** Diagrama de flujo para la caracterización de abonos orgánicos.

Realizado por: Aguilar, J., 2023.

### 3.2.2.3 Determinación de Nitrógeno (N) total

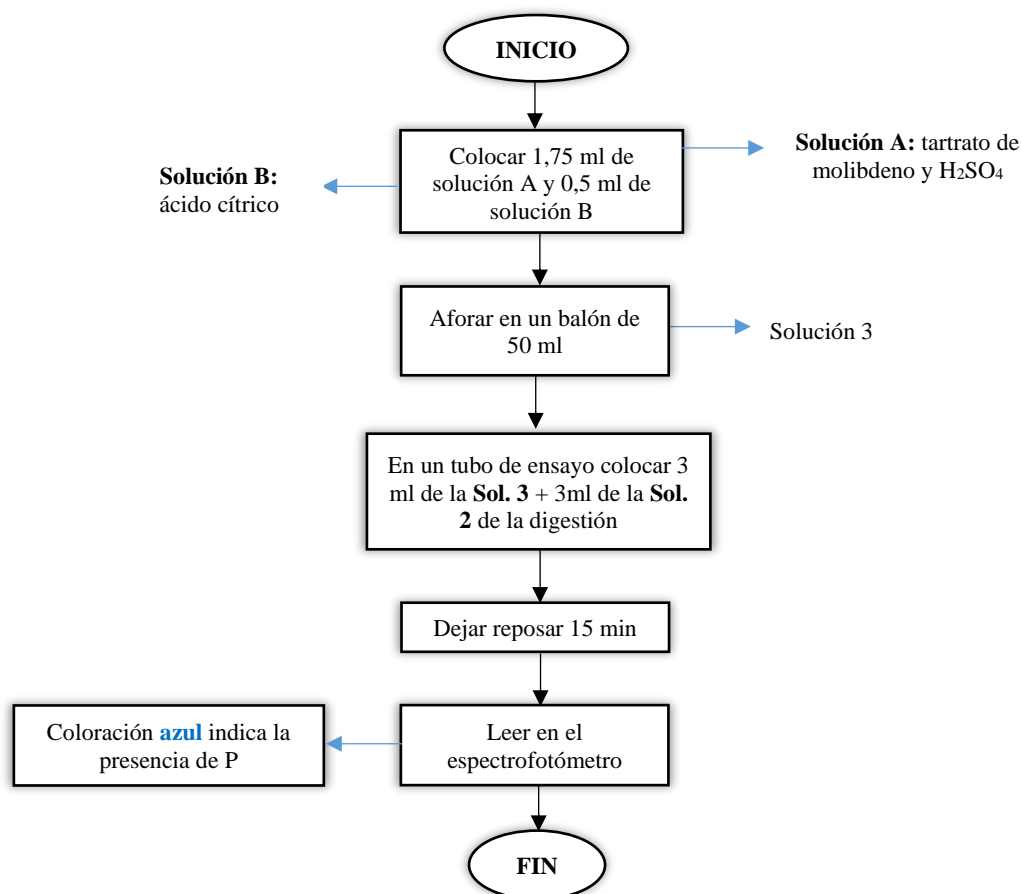




**Ilustración 3-24:** Diagrama de flujo para la determinación de N total

Realizado por: Aguilar, J., 2023.

3.2.2.4 Determinar de Fósforo (P) total



**Ilustración 3-25:** Diagrama de flujo para la determinación de P total

Realizado por: Aguilar, J., 2023.

Los valores dados por el equipo están expresados en mg/l y para conocer la concentración porcentual se emplea la siguiente fórmula, transformando los mg/l a mg/kg:

**Ecuación 3-1:** Cálculo porcentual de N y P

$$\% \text{ elemento} = \frac{RE \times \frac{VA}{PM} \times \frac{1 \text{ l}}{1000 \text{ ml}} \times \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ kg}} \times FD}{10000}$$

**Donde:**

**RE:** resultado obtenido en el espectrofotómetro (mg/l)

**VA:** volumen de aforo de la solución 2 en la digestión

**FD:** factor de dilución de la muestra

**PM:** peso de la muestra en la digestión

**10000:** factor de conversión de ppm a porcentaje (10.000 ppm = 1%)

Los análisis de potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (mg) fueron analizados mediante el fotómetro de llama el cual nos permite obtener la concentración de los elementos de acuerdo con su emisividad de manera rápida y sencilla.

Para la determinación total de los compuestos se utilizó la “solución 2” obtenido por medio de la digestión, esta técnica de análisis no requiere la utilización de ningún reactivo para la lectura de los elementos mencionados.

### 3.2.3 Procedimiento a nivel industrial

Para la implementación del proyecto a escala industrial se ha establecido una producción por lotes de 500 kg/día de fertilizante de acuerdo con las necesidades de la empresa.

Mediante los ensayos realizado en la “Escuela Superior Politécnica de Chimborazo” se realizó la obtención del fertilizante a escala de laboratorio lo cual nos permitió conocer las cantidades de materia prima empleadas para la obtención del producto final anteriormente descrito, factores importantes que permitirán establecer los lineamientos necesarios para una producción a gran escala. Los pesos y cantidades empleadas se registran en la siguiente tabla:

**Tabla 3-16:** Pesos de la materia prima empleada a escala de laboratorio

Parámetro	Compostaje	Ceniza de Hueso	Ceniza de Madera
Peso inicial	1 kg	7.5 kg	5 kg
Peso secado	0,6379 kg	4,5175 kg	4,5356 kg
Peso final	0,4486	2,258 kg	2 kg
Peso tratamiento	-	6,0675 kg	-
Peso calcinación	-	2,320 kg	-

Realizado por: Aguilar, J., 2023.

#### 3.2.3.1 Bases de Cálculo

#### 3.2.3.2 Cálculo de cantidades necesarias para la producción 500 kg de fertilizante

Primero partimos conociendo la cantidad de hueso, compost y ceniza que necesito para producir 500 kg de producto final, para ello utilizamos la formulación óptima encontrada 4-5-3.

**Tabla 3-17:** Cantidad total de materia prima empleada en la formulación

Materia Prima	Formulación		Porcentaje
Hueso	4 g	0,004 kg	33,33 %
Compost	5 g	0,005 kg	41,67 %
Ceniza	3 g	0,003 kg	25 %
<b>Total</b>	<b>12 g</b>	<b>0,012 kg</b>	<b>100 %</b>

Realizado por: Aguilar, J., 2023.

Realizamos una regla de 3 simple para cada materia prima:

Ceniza de hueso

$$\begin{array}{r}
 0,012 \text{ kg} \quad \longrightarrow \quad 0,004 \text{ kg} \\
 500 \text{ kg} \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad x \\
 x = 166,67 \text{ kg}
 \end{array}$$

Si para producir 0,012 kg de fertilizante necesito 0,004 kg de hueso, para producir 500 kg de fertilizante necesito 166,67 kg de ceniza de hueso.

Compost

$$\begin{array}{r}
 0,012 \text{ kg} \quad \longrightarrow \quad 0,005 \text{ kg} \\
 500 \text{ kg} \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad x \\
 x = 208,33 \text{ kg}
 \end{array}$$

Si para producir 0,012 kg de fertilizante necesito 0,005 kg de compost, para producir 500 kg de fertilizante necesito 208,33 kg de compost.

Ceniza de madera

$$\begin{array}{r}
 0,012 \text{ kg} \quad \longrightarrow \quad 0,003 \text{ kg} \\
 500 \text{ kg} \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad x \\
 x = 125,00 \text{ kg}
 \end{array}$$

Si para producir 0,012 kg de fertilizante necesito 0,003 kg de ceniza de madera, para producir 500 kg de fertilizante necesito 125,00 kg de ceniza de madera.

## Cálculo de materia prima necesaria para la producción

Ceniza de hueso

$$\begin{array}{r} 7.5 \text{ kg} \leftarrow 2,258 \text{ kg} \\ x \quad \quad \quad 166,67 \text{ kg} \\ x = 553,60 \text{ kg} \end{array}$$

Si necesito 8 kg de materia prima para producir 2,258 kg de ceniza de hueso, necesito 553,60 kg de materia prima para producir los 166,67 kg de ceniza de hueso necesarios para los 500 kg de fertilizante.

Compost

$$\begin{array}{r} 1 \text{ kg} \leftarrow 0,4486 \text{ kg} \\ x \quad \quad \quad 208,33 \text{ kg} \\ x = 464,40 \text{ kg} \end{array}$$

Si necesito 1 kg de materia prima para producir 0,4486 kg de compost, necesito 464,40 kg de materia prima para producir los 208,33 kg de compost necesarios para los 500 kg de fertilizante.

Ceniza de madera

$$\begin{array}{r} 5 \text{ kg} \leftarrow 2 \text{ kg} \\ x \quad \quad \quad 125 \text{ kg} \\ x = 312,5 \text{ kg} \end{array}$$

Si necesito 5 kg de materia prima para producir 2 kg de ceniza, necesito 312,5 kg de materia prima para producir los 125 kg de ceniza necesarios para los 500 kg de fertilizante. Sumando los valores obtenidos, se concluye que se necesita **1330,5 kg** de materia prima para la producción de 500 kg de fertilizante.

En la tabla 3-30 se presenta los resultados de los cálculos realizados con las cantidades de materia prima inicial y materia prima final para la producción de los 500 kg de fertilizante.

**Tabla 3-18:** Resultados de los cálculos elaborados para la producción de 500 kg de fertilizante orgánico

Materia Prima	Cantidad de MP para la producción de 500 kg de fertilizante	Cantidad de componentes principales para la producción de la materia prima
Ceniza de hueso	166,67 kg	553,60 kg de hueso puro
Compost	208,33 kg	464,40 kg de compost
Ceniza de madera	125 kg	312,5 kg de madera
<b>Total</b>	<b>500 kg</b>	<b>1330,5 kg</b>

Realizado por: Aguilar, J., 2023.

### 3.2.3.3 Balance de masa

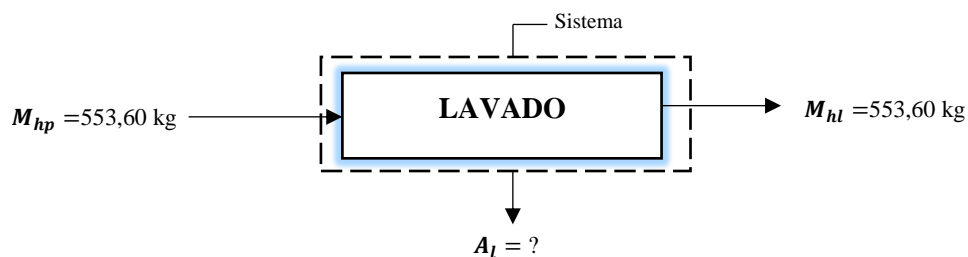
El balance de masa de un proceso industrial es un registro concreto de todos los componentes que entran, salen, se acumulan o consumen durante un intervalo de espacio dado, y se rige por la Ley de Conservación de Materia, en el cual detalla que “la materia no se crea ni se destruye, sólo se transforma”. Cada uno de estos balances tanto para masa como energía se trabajará en condiciones de estado estacionario debido a que no se tiene acumulaciones durante el proceso, la ecuación general en estado estacionario es la siguiente:

$$\text{Entrada} = \text{Salida}$$

A continuación, se presentan los balances de materia respectivos para cada materia prima con los datos obtenidos en los cálculos para la producción a escala industrial.

#### Balance de masa para la ceniza de hueso.

##### ➤ Lavado



Donde:

$M_{hp}$  = masa de hueso puro (kg)

$M_{hl}$  = masa de hueso lavado (kg)

$A_l$  = agua utilizada en el lavado (lt)

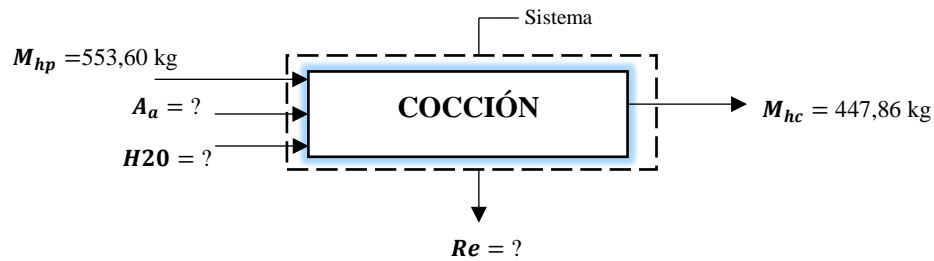
**Ecuación 3-2:** Cálculo del agua de lavado.

$$\begin{array}{l} 7.5 \text{ kg} \text{ ---} \\ 553,60 \text{ kg} \text{ ---} \end{array} \begin{array}{l} \text{---} \\ \text{---} \end{array} \begin{array}{l} 5 \text{ lt} \\ x \end{array}$$

$$x = 369,06 \text{ lt}$$

La etapa de lavado mantiene un rendimiento del 100% debido a que no hay remoción de impurezas de gran tamaño. Seguidamente los huesos previamente lavados pasaran por una cortadora de huesos industrial con el objetivo de reducir su tamaño y facilitar los demás procesos, por lo tanto, el balance de masa en esta etapa es la misma ya que no hay pérdida de materia.

➤ **Cocción**



Donde:

$M_{hp}$  = masa de hueso puro (kg)

$M_{hc}$  = masa de hueso cocido (kg)

$A_a$  = ácido acético empleado (lt)

$Re$  = residuos de la cocción (kg)

**Ecuación 3-3:** cálculo de ácido acético, agua y cantidad de hueso cocido.

ácido acético y agua

$$\begin{array}{l} 7.5 \text{ kg} \text{ ---} \\ 553,60 \text{ kg} \text{ ---} \end{array} \begin{array}{l} \text{---} \\ \text{---} \end{array} \begin{array}{l} 6,25 \text{ lt ácido} \\ x \end{array}$$

$$x = 461,33 \text{ lt ácido}$$

Se utilizó una proporción 2:1, por cada dos partes de ácido una parte de agua, por lo tanto, la cantidad de H2O necesaria es 230,66 lt.

cantidad de hueso cocido

$$\begin{array}{l} 7.5 \text{ kg} \text{ ---} \\ 553,60 \text{ kg} \text{ ---} \end{array} \begin{array}{l} \text{---} \\ \text{---} \end{array} \begin{array}{l} 6,0675 \text{ kg} \\ x \end{array}$$

$$x = 447,86 \text{ kg}$$

**Ecuación 3-4:** cantidad de residuos de hueso producto de la cocción

$$\text{Entrada} = \text{Salida}$$

$$M_{hp} = M_{hc} + R_e$$

$$M_{hp} = M_{hc} + R_e$$

$$M_{hp} - M_{hc} = R_e$$

$$553,60 \text{ kg} - 447,86 \text{ kg} = R_e$$

$$105,74 \text{ kg} = R_e$$

**Ecuación 3-5:** rendimiento de la etapa de cocción

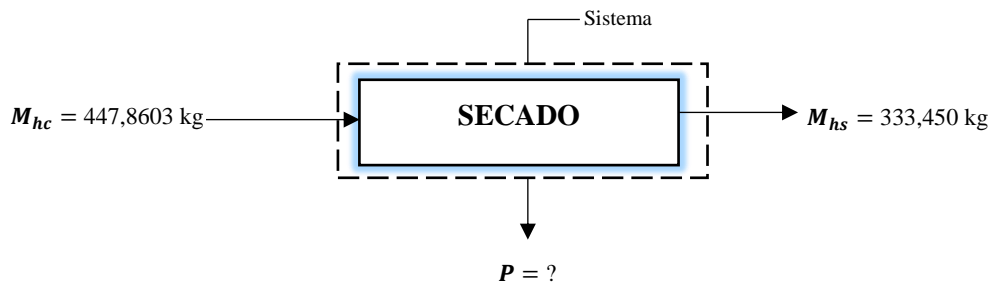
$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{\text{materia que sale}}{\text{materia que entra}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{447,86 \text{ kg}}{553,60 \text{ kg}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Rendimiento} = 80,90 \%$$

El proceso cuenta con un rendimiento del 80,90% donde los 142,64 kg de residuos corresponden a restos de carne y tejidos blandos que permanecían incrustados en los huesos y que al someterles a un proceso de ebullición con agua y ácido acético fueron removidos totalmente, estos residuos no tienen un valor agregado por lo tanto son desechados procurando no generar un foco de contaminación ambiental.

➤ **Secado**



Donde:

$M_{hc}$  = masa de hueso cocido (kg)

$M_{hs}$  = masa de hueso seco (kg)

$P$  = pérdida de materia prima en el proceso (kg)

**Ecuación 3-6:** cálculo de la cantidad de masa después del secado

$$\begin{array}{ccc} 6,0675 \text{ kg} & \text{---} & 4,5175 \text{ kg} \\ 447,8603 \text{ kg} & \text{---} & x \\ & & x = 333,450 \text{ kg} \end{array}$$

**Ecuación 3-7:** cálculo de la cantidad de pérdida de materia prima

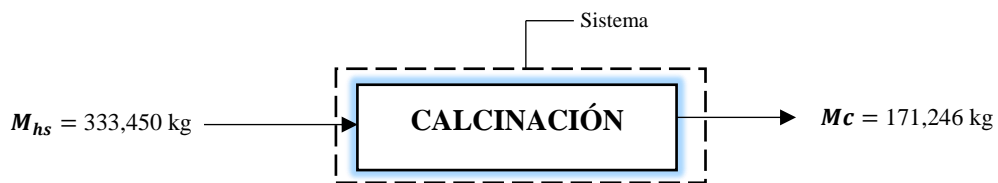
$$\begin{aligned} \text{Entrada} &= \text{Salida} \\ M_{hc} &= M_{hs} + P \\ M_{hc} - M_{hs} &= P \\ 447,8603 \text{ kg} - 333,450 \text{ kg} &= P \\ 114,4103 \text{ kg} &= P \end{aligned}$$

**Ecuación 3-8:** cálculo del rendimiento en el proceso de secado

$$\begin{aligned} \% \text{ Rendimiento} &= \frac{\text{materia que sale}}{\text{materia que entra}} \times 100\% \\ \% \text{ Rendimiento} &= \frac{333,450 \text{ kg}}{447,8603 \text{ kg}} \times 100\% \\ \% \text{ Rendimiento} &= 74,45 \% \end{aligned}$$

El proceso de secado fue realizado bajo condiciones de 75°C por 24 h, presentando un rendimiento del 74,45% debido a que el hueso que ingreso contenía elevadas cantidades de humedad por la etapa de cocción a la que fue sometido, el hueso fue secado antes de ingresar a la calcinación para reducir niveles de grasa que quedaron en los interiores de los huesos y para facilitar el siguiente proceso.

➤ **Calcinación**





Donde:

$M_{hs}$  = masa de hueso seco (kg)

$M_c$  = masa de hueso calcinada (kg)

**Ecuación 3-9:** cálculo de la cantidad de masa calcinada

$$\begin{array}{r} 4,5175 \text{ kg} \text{ ---} \\ 333,450 \text{ kg} \text{ ---} \end{array} \begin{array}{l} \diagup \\ \diagdown \end{array} \begin{array}{r} 2,320 \text{ kg} \\ x \end{array}$$
$$x = 171,246 \text{ kg}$$

**Ecuación 3-10:** cálculo del rendimiento en el proceso de calcinación

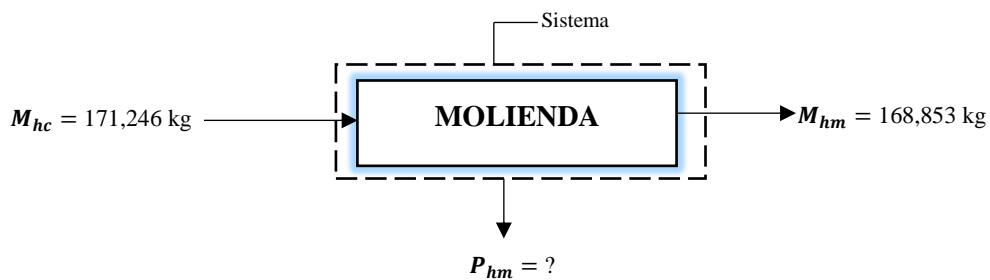
$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{\text{materia que sale}}{\text{materia que entra}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{171,246 \text{ kg}}{333,450 \text{ kg}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Rendimiento} = 51,35 \%$$

La calcinación fue realizada en una mufla, a una temperatura establecida de 750°C por 3 horas, el resultado fue huesos de color blanquecino y sumamente ligeros y fáciles de triturar, por tal motivo evidenciamos la reducción de aproximadamente el 50% de la materia prima entrante en el proceso.

### ➤ Molienda



Donde:

$M_{hc}$  = masa de hueso calcinada (kg)

$M_{hm}$  = masa de hueso molido (kg)

$P_{hm}$  = pérdida de hueso molido (kg)

**Ecuación 3-11:** cálculo de la cantidad de masa molida

$$\begin{array}{ccc} 2,29 \text{ kg} & \longrightarrow & 2,258 \text{ kg} \\ 171,246 \text{ kg} & \nearrow & x \\ & & x = 168,853 \text{ kg} \end{array}$$

**Ecuación 3-12:** cálculo de la cantidad de pérdida de harina de hueso molida

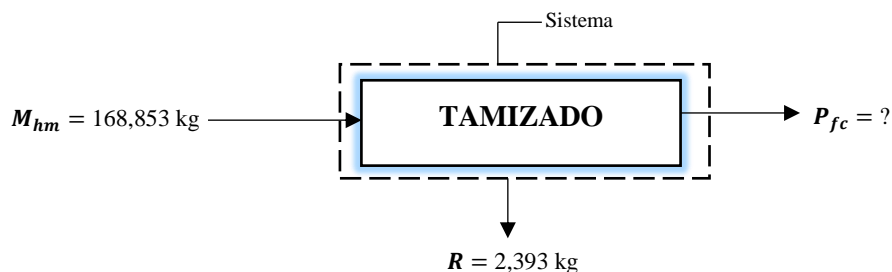
$$\begin{aligned} \text{Entrada} &= \text{Salida} \\ M_{hc} &= M_{hm} + P_{hm} \\ M_{hc} - M_{hm} &= P_{hm} \\ 171,246 \text{ kg} - 168,853 \text{ kg} &= P_{hm} \\ 2,393 \text{ kg} &= P \end{aligned}$$

**Ecuación 3-13:** cálculo del rendimiento en el proceso de molienda

$$\begin{aligned} \% \text{ Rendimiento} &= \frac{\text{materia que sale}}{\text{materia que entra}} \times 100\% \\ \% \text{ Rendimiento} &= \frac{168,853 \text{ kg}}{171,4246 \text{ kg}} \times 100\% \\ \% \text{ Rendimiento} &= 98,49\% \end{aligned}$$

Existe una pérdida de 2,393 kg en la etapa de molienda, un valor considerable a lo largo del proceso, esto puede ocurrir por el tipo de molienda utilizada, viento o restos de materia incrustada en las paredes o interiores de la máquina, factor que se puede corregir de forma manual y asegurarse que toda la materia prima posible sea molida y tamizada, aun así se cuenta con un rendimiento del 98,49% un valor alto que asegura la eficacia del proceso de producción.

#### ➤ Tamizado



Donde:

$M_{hm}$  = masa de hueso molido (kg)

$P_{fc}$  = peso final de la ceniza de hueso (kg)

$R$  = residuos de hueso (kg)

**Ecuación 3-14:** cálculo de la cantidad de producto final obtenido

$$\begin{aligned} \text{Entrada} &= \text{Salida} \\ M_{hm} &= P_{fc} + R \\ M_{hm} - R &= P_{fc} \\ 168,853 \text{ kg} - 2,393 \text{ kg} &= P_{fc} \\ 166,46 \text{ kg} &= P_{fc} \end{aligned}$$

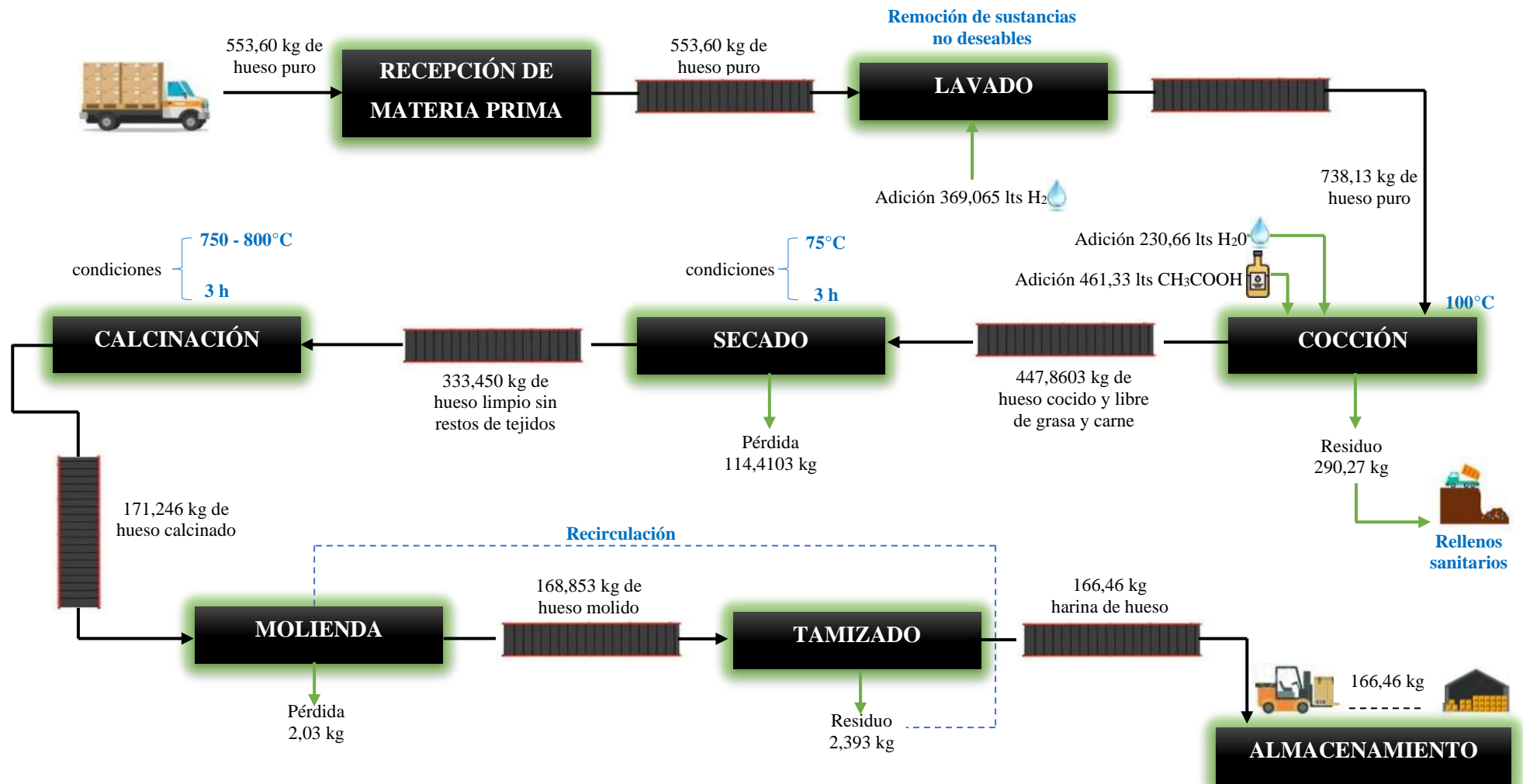
**Ecuación 3-15:** cálculo del rendimiento en el proceso de tamizado

$$\begin{aligned} \% \text{ Rendimiento} &= \frac{\text{materia que sale}}{\text{materia que entra}} \times 100\% \\ \% \text{ Rendimiento} &= \frac{166,46 \text{ kg}}{168,853 \text{ kg}} \times 100\% \\ \% \text{ Rendimiento} &= 98,58 \% \end{aligned}$$

Concluido el balance de materia se obtiene 166,46 kg de ceniza de hueso, valor que difiere en 0,2 % por el valor obtenido anteriormente, asegurando un rendimiento del 98,58% del proceso general, un porcentaje relativamente bueno que garantiza la eficiencia del proceso industrial para la obtención de la ceniza de hueso.

El valor de 2,393 kg de residuo que se registró en la etapa de molienda se lo consideró residuo en la etapa de tamizado debido a que está cantidad al no ser tamizada no es rechazada, simplemente se opta por una recirculación, así aseguramos que todas las partículas de materia sobrantes en la molienda vuelvan a molerse hasta conseguir el paso del 99% de materia prima por el tamiz seleccionado.

A continuación, se presenta el balance de masa general del proceso:

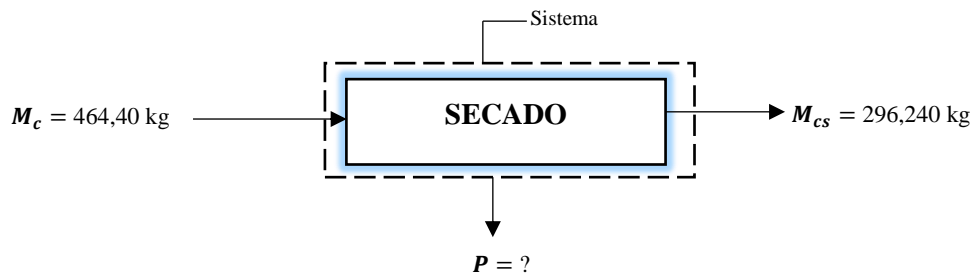


**Ilustración 3-26:** Diagrama de flujo del balance de masa general de producción de harina de hueso

Realizado por: Aguilar, J., 2023.

## Balance de masa para el compost

### ➤ Secado



Donde:

$M_c$  = masa de compost inicial (kg)

$M_{cs}$  = masa de compost seco (kg)

$P$  = pérdida de materia prima (kg)

**Ecuación 3-16:** cálculo de la cantidad de masa de compost seca

$$\begin{array}{ccc} 1 \text{ kg} & \text{---} & 0,6379 \text{ kg} \\ 464,40 \text{ kg} & \text{---} & x \end{array}$$

$$x = 296,240 \text{ kg}$$

**Ecuación 3-17:** cálculo de la cantidad de pérdida de materia prima

$$\text{Entrada} = \text{Salida}$$

$$M_c = M_{cs} + P$$

$$M_c - M_{cs} = P$$

$$464,40 \text{ kg} - 296,240 \text{ kg} = P$$

$$168,16 \text{ kg} = P$$

**Ecuación 3-18:** cálculo del rendimiento en el proceso de secado

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{\text{materia que sale}}{\text{materia que entra}} \times 100\%$$

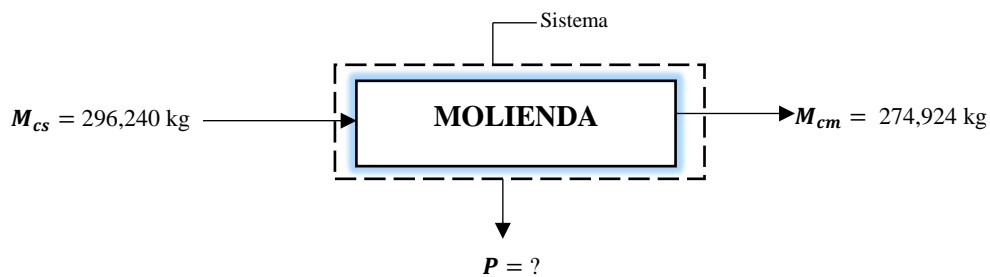
$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{296,240 \text{ kg}}{464,40 \text{ kg}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Rendimiento} = 63,79 \%$$

El proceso de secado fue realizado bajo condiciones de 70°C por 24 h, presentando un rendimiento del 63,79%.

El compost fue sometido a secado para reducir las cantidades de humedad presentes ya que si se mezclara directamente podría dañarse la materia prima o contaminarse con hongos por la humedad presente; es importante que la temperatura de secado sea máximo los 70°C establecidos ya que a una temperatura mayor podría afectar la calidad y propiedades de la materia prima.

➤ **Molienda**



Donde:

$M_{cs}$  = masa de compost seco (kg)

$M_{cm}$  = masa de compost molido (kg)

$P$  = pérdida (kg)

**Ecuación 3-19:** cálculo de la cantidad de masa de compost molido

$$\begin{array}{ccc} 0,6379 \text{ kg} & \xrightarrow{\quad} & 0,592 \text{ kg} \\ 296,240 \text{ kg} & \xrightarrow{\quad} & x \end{array}$$

$$x = 274,924 \text{ kg}$$

**Ecuación 3-20:** cálculo de la cantidad de pérdida de materia prima

$$\begin{aligned} \text{Entrada} &= \text{Salida} \\ M_{cs} &= M_{cm} + P \\ M_{cs} - M_{cm} &= P \\ 296,240 \text{ kg} - 274,924 \text{ kg} &= P \\ 21,316 \text{ kg} &= P \end{aligned}$$

**Ecuación 3-21:** cálculo del rendimiento en el proceso de molienda

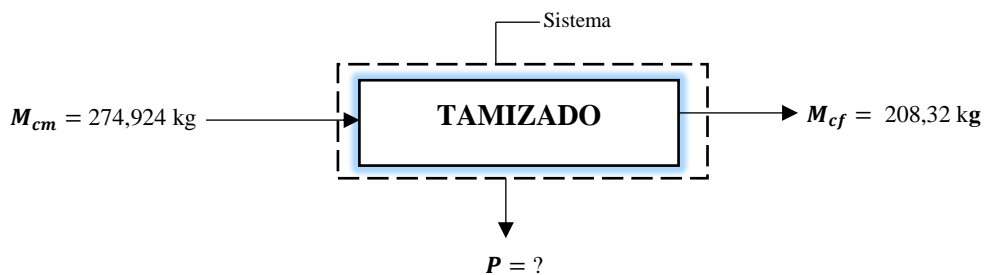
$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{\text{materia que sale}}{\text{materia que entra}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{274,924 \text{ kg}}{296,240 \text{ kg}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Rendimiento} = 92,80 \%$$

Existe una pérdida de 21,316 kg en la etapa de molienda, esto puede ocurrir por el tipo de molienda utilizada, viento o restos de materia incrustada en las paredes o interiores de la máquina, factor que se puede corregir de forma manual y asegurarse que toda la materia prima posible sea molida y tamizada, aun así, se cuenta con un rendimiento del 92,80% un valor alto que asegura la eficacia del proceso de producción.

➤ **Tamizado**



Donde:

$M_{cm}$  = masa de compost molido (kg)

$M_{cf}$  = masa de compost final (kg)

$P$  = pérdida (kg)

**Ecuación 3-22:** cálculo de la cantidad de masa de compost final

$$\begin{array}{ccc} 0,592 \text{ kg} & \text{---} & 0,4486 \text{ kg} \\ 274,924 \text{ kg} & \text{---} & x \\ & & x = 208,32 \text{ kg} \end{array}$$

**Ecuación 3-23:** cálculo de la cantidad de pérdida de materia prima

$$\text{Entrada} = \text{Salida}$$

$$M_{cm} = M_{cf} + P$$

$$M_{cm} - M_{cf} = P$$

$$274,924 \text{ kg} - 208,32 \text{ kg} = P$$

$$66,604 \text{ kg} = P$$

**Ecuación 3-24:** cálculo del rendimiento en el proceso de tamizado

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{\text{materia que sale}}{\text{materia que entra}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{208,32 \text{ kg}}{274,924 \text{ kg}} \times 100\%$$

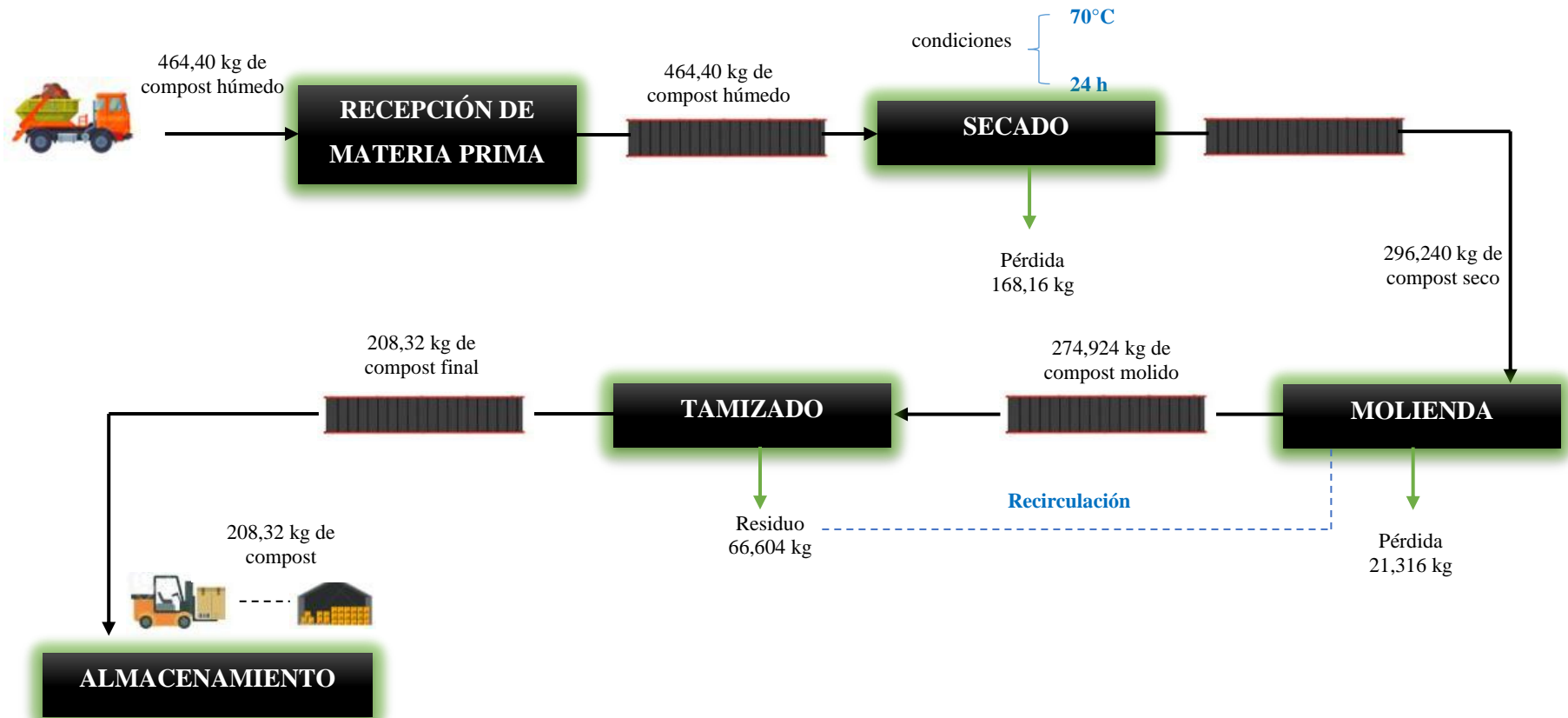
$$\% \text{ Rendimiento} = 75,77 \%$$

Concluido el balance de materia se obtiene 208,32 kg de compost con un rendimiento de 75,77% del proceso general, un porcentaje bueno que garantiza la eficiencia del proceso industrial para la obtención de la ceniza de hueso.

El porcentaje de residuo en esta etapa es de 66,604 kg por lo cual se opta por una recirculación, así aseguramos que todas las partículas de materia sobrantes en los tamices vuelvan a molerse hasta conseguir aproximadamente el paso del 99% de materia prima y la materia prima que no se tamiza vuelve a las pilas de compostaje.

A continuación, se presenta el balance de masa general del proceso:



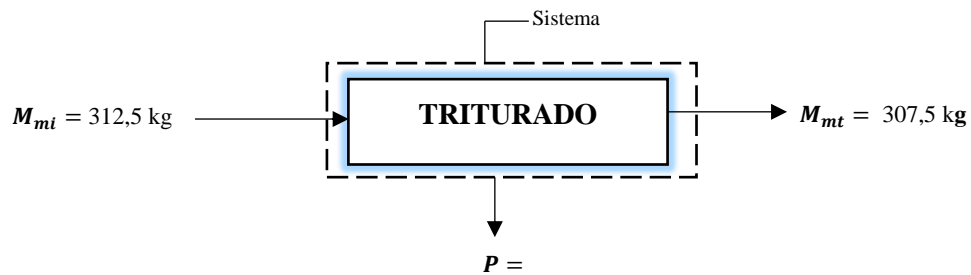


**Ilustración 3-27:** Diagrama de flujo del balance de masa general de producción de compost seco

Realizado por: Aguilar, J., 2023.

## Balance de masa para la ceniza de madera.

### ➤ Trituración



Donde:

$M_{mi}$  = masa de madera inicial (kg)

$M_{mt}$  = masa de madera triturada (kg)

$P$  = pérdida (kg)

**Ecuación 3-25:** cálculo de la cantidad de masa de madera triturada

$$\begin{array}{ccc} 5 \text{ kg} & \longrightarrow & 4,92 \text{ kg} \\ 312,5 \text{ kg} & \searrow & x \\ & & x = 307,5 \text{ kg} \end{array}$$

**Ecuación 3-26:** cálculo de la cantidad de pérdida de materia prima

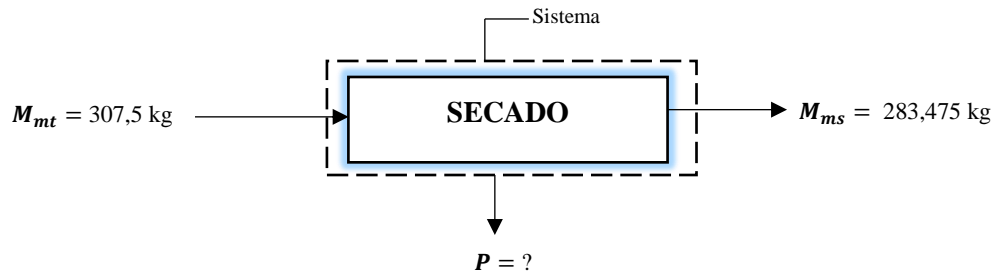
$$\begin{aligned} \text{Entrada} &= \text{Salida} \\ M_{mi} &= M_{mt} + P \\ M_{mi} - M_{mt} &= P \\ 312,5 \text{ kg} - 307,5 \text{ kg} &= P \\ 5 \text{ kg} &= P \end{aligned}$$

**Ecuación 3-27:** cálculo del rendimiento en el proceso de triturado

$$\begin{aligned} \% \text{ Rendimiento} &= \frac{\text{materia que sale}}{\text{materia que entra}} \times 100\% \\ \% \text{ Rendimiento} &= \frac{307,5 \text{ kg}}{312,5 \text{ kg}} \times 100\% \\ \% \text{ Rendimiento} &= 98,4 \% \end{aligned}$$

La madera que es receptada y pasa por un proceso de trituración para reducir su tamaño, separar la corteza del tronco y facilitar los procesos siguientes. Se obtuvo de pérdida 5 kg con un rendimiento del 98,4%, valor que corresponde a la cascará de los troncos de madera, proceso que se realiza debido a que puede contener sustancias no deseadas que interfiriesen en la calidad del producto final.

➤ *Secado*



Donde:

$M_{mt}$  = masa de madera triturada (kg)

$M_{ms}$  = masa de madera seca (kg)

$P$  = pérdida (kg)

**Ecuación 3-28:** cálculo de la cantidad de masa de madera seca

$$\begin{array}{ccc} 4,92 \text{ kg} & \longrightarrow & 4,5356 \text{ kg} \\ 307,5 \text{ kg} & \searrow & x \\ & & x = 283,475 \text{ kg} \end{array}$$

**Ecuación 3-29:** cálculo de la cantidad de pérdida de materia prima

$$\text{Entrada} = \text{Salida}$$

$$M_{mt} = M_{ms} + P$$

$$M_{mt} - M_{ms} = P$$

$$307,5 \text{ kg} - 283,475 \text{ kg} = P$$

$$24,025 \text{ kg} = P$$

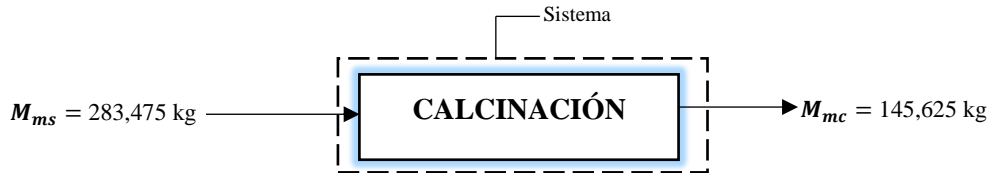
**Ecuación 3-30:** cálculo del rendimiento en el proceso de secado

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{\text{materia que sale}}{\text{materia que entra}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{283,475 \text{ kg}}{307,5 \text{ kg}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Rendimiento} = 92,18 \%$$

➤ **Calcinación**



Donde:

$M_{ms}$  = masa de madera seca (kg)

$M_{mc}$  = masa de madera calcinada (kg)

**Ecuación 3-31:** cálculo de la cantidad de masa de madera calcinada

$$\begin{array}{ccc} 4,5356 \text{ kg} & \text{---} & 2,33 \text{ kg} \\ 283,475 \text{ kg} & \text{---} & x \\ & & x = 145,625 \text{ kg} \end{array}$$

**Ecuación 3-32:** cálculo del rendimiento en el proceso de secado

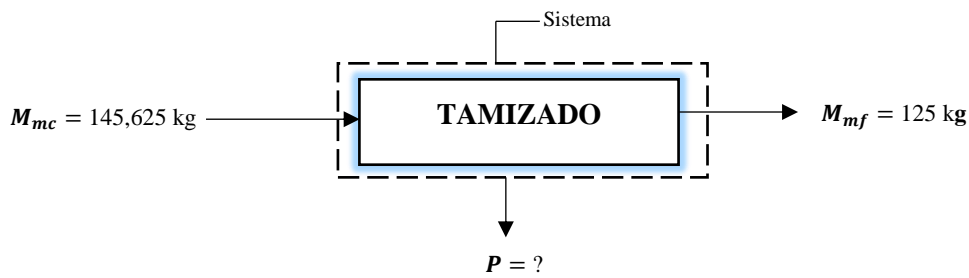
$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{\text{materia que sale}}{\text{materia que entra}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{145,625 \text{ kg}}{283,475 \text{ kg}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Rendimiento} = 51,37 \%$$

La calcinación se realizó a 500°C por 3 horas, en esta etapa se registra un rendimiento del 51,37% debido a que el peso de la materia prima se reduce notoriamente al consumirse por completo la madera, la cual seguidamente la pasamos por un tamiz para separar restos de carbón que quedan en el proceso.

➤ **Tamizado**



Donde:

$M_{mc}$  = masa de madera calcinada (kg)

$M_{mf}$  = masa de madera final (kg)

$P$  = pérdida (kg)

**Ecuación 3-33:** cálculo de la cantidad de masa de ceniza de madera

$$\begin{array}{ccc} 2,33 \text{ kg} & \text{---} & 2 \text{ kg} \\ 145,625 \text{ kg} & \text{---} & x \end{array}$$

$$x = 125 \text{ kg}$$

**Ecuación 3-34:** cálculo de la cantidad de pérdida de materia prima

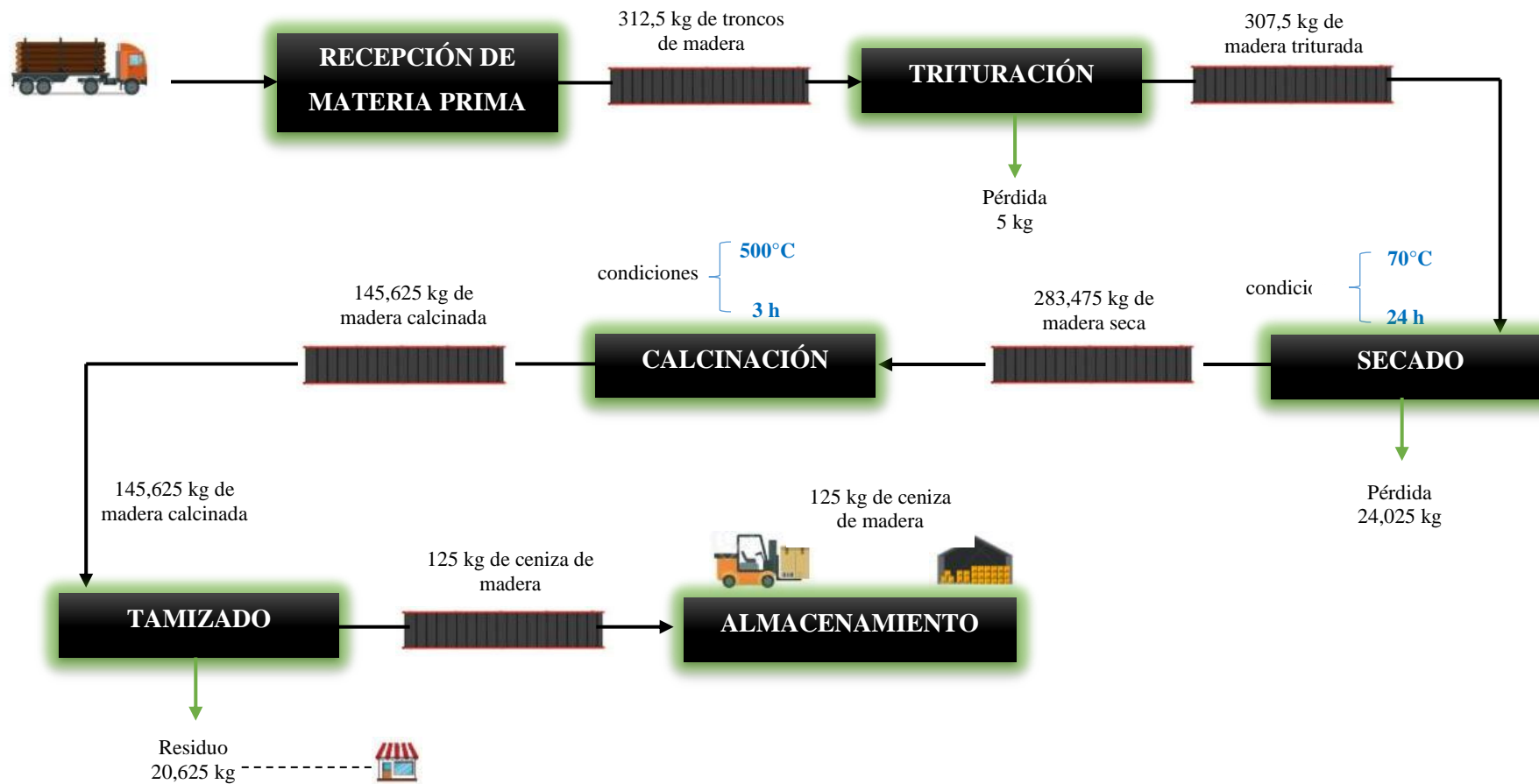
$$\begin{aligned} \text{Entrada} &= \text{Salida} \\ M_{mc} &= M_{mf} + P \\ M_{mc} - M_{mf} &= P \\ 145,625 \text{ kg} - 125 \text{ kg} &= P \\ 20,625 \text{ kg} &= P \end{aligned}$$

**Ecuación 3-35:** cálculo del rendimiento en el proceso de tamizado

$$\begin{aligned} \% \text{ Rendimiento} &= \frac{\text{materia que sale}}{\text{materia que entra}} \times 100\% \\ \% \text{ Rendimiento} &= \frac{125 \text{ kg}}{145,625 \text{ kg}} \times 100\% \\ \% \text{ Rendimiento} &= 85,83 \% \end{aligned}$$

En el tamizado se registra una pérdida de 20,625 kg de materia, esto corresponde a residuos de carbón o madera sin combustionar que se quedó en el proceso, dichos residuos son desechados o usados conforme los requerimientos de la empresa. El rendimiento del proceso registró un valor de 85,83% un valor bueno que indica una eficiencia en el proceso.

A continuación, se presenta el flujograma general del proceso con los resultados obtenidos en el balance de masa.



**Ilustración 3-28:** Diagrama de flujo del balance de masa general de producción de ceniza de madera

Realizado por: Aguilar, J., 2023.

### 3.2.3.4 Balance de energía

El balance de energía hace referencia a la determinación de los fluidos que intervienen en el proceso de producción, transformación y consumo final de la energía en las etapas donde el cambio de calor es evidente.

En el proceso de producción de fertilizantes se identifica 3 operaciones donde hay un cambio de energía: secado, cocción y calcinación.

Procesos que se repiten en la elaboración individual de las materias primas, por lo tanto, se realizará un balance de masa general tomando en cuenta una sola materia prima (Hueso).

#### ➤ *Secado*

Para eliminar el contenido de humedad del hueso se utilizó un secador de bandejas bajo condiciones de T de 75°C y tiempo de 24h.

Calculamos el balance general de energía con la siguiente fórmula:

#### **Ecuación 3-36:** Balance de energía general

$$E_{cinética} + E_{potencial} + \Delta_H = Q + W$$
$$\Delta_H = Q$$

Donde:

$E_{cinética}$  = energía cinética en J

$E_{potencial}$  = energía potencial en J

$\Delta_H$  = variación de la entalpia en J

$Q$  = calor en J

$W$  = trabajo en J

Calculamos el calor sensible del hueso empleando la siguiente fórmula:

#### **Ecuación 3-37:** cálculo del calor sensible

$$C_{sensible} = h_{2_{agua}} - h_{1_{agua}}$$

Donde:

$h_{1_{agua}}$  = entalpia del agua a temperatura inicial de la muestra (20°C) = 83,919 kJ/kg

$h_{2_{agua}}$  = entalpia del agua a temperatura de saturación de la muestra (75°C) = 313,974 kJ/kg



$$C_{sensible} = h2_{agua} - h1_{agua}$$

$$C_{sensible} = 313,974 \text{ kJ/kg} - 83,919 \text{ kJ/kg}$$

$$C_{sensible} = 230,055 \text{ kJ/kg}$$

Cálculo del calor proporcionado.

**Ecuación 3-38:** calor proporcionado por el secador

$$Q_s = Q_{latente} + C_{sensible}$$

Donde:

$Q_s$  = calor suministrado kJ/kg

$Q_{latente} = 2257 \text{ kJ/kg}$

$$Q_s = Q_{latente} + C_{sensible}$$

$$Q_s = 2257 \text{ kJ/kg} + 230,055 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_s = 2487,055 \text{ kJ/kg}$$

Cálculo del calor ganado por el hueso de res

**Ecuación 3-39:** calor ganado por el hueso

$$Q = m_{hueso} \times C_{pagua} \times \Delta T$$

Donde:

$Q$  = calor ganado por el hueso en KJ

$m_{hueso}$  = peso del hueso seco en kg

$C_{pagua}$  = capacidad calorífica del agua  $\frac{KJ}{kg \cdot ^\circ C}$

$\Delta T$  = diferencia de temperatura (T de saturación – T ambiente) ( $^\circ C$ )

$$Q = m_{hueso} \times C_{pagua} \times \Delta T$$

$$Q = 4,5175 \text{ kg} \times 4,186 \frac{KJ}{kg \cdot ^\circ C} \times (75 - 22)^\circ C$$

$$Q = 1002,243 \text{ KJ}$$

Cálculo de la entalpía del hueso

**Ecuación 3-40:** entalpía del hueso

$$h_{\text{hueso}} = C_{\text{ohueso}} \times \Delta T$$

Donde:

$CP_h$  = según (Laidler, 1993. p.2) la capacidad calorífica de huesos húmedos es de  $2,76 \frac{\text{KJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$  y de

huesos secos  $1,3 \frac{\text{KJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$

$\Delta T$  = diferencia de temperatura (T de saturación – T ambiente) ( $^\circ\text{C}$ )

$$h_{\text{hueso}} = C_{\text{ohueso}} \times \Delta T$$

$$h_{\text{hueso}} = 1,3 \frac{\text{KJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \times (75 - 22)^\circ\text{C}$$

$$h_{\text{hueso}} = 68,9 \text{ kJ/kg}$$

Cálculo del calor requerido para evaporar el agua en el secado

**Ecuación 3-41:** calor necesario para la evaporación del agua

$$Q_{\text{agua}} = m_{\text{agua}} \times C_{\text{latente}}$$

Donde:

$m_{\text{agua}}$  = valor de agua evaporada en kg

$$Q_{\text{agua}} = m_{\text{agua}} \times C_{\text{latente}}$$

$$Q_{\text{agua}} = 1,55 \text{ kg} \times 2257 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_{\text{agua}} = 3498,35 \text{ KJ}$$

Con los datos expresados calculamos el calor total que se realiza en el secado

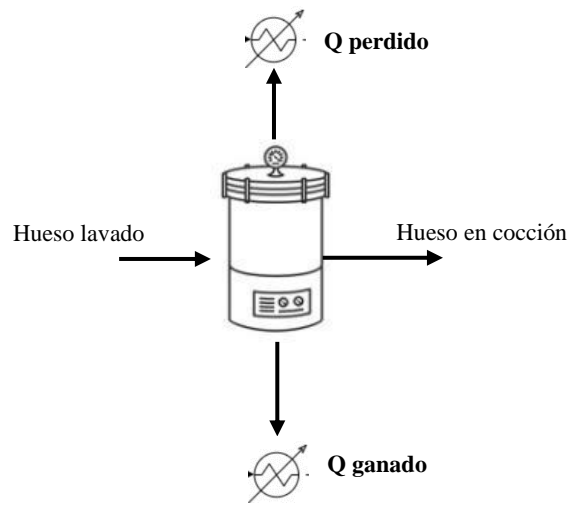
**Ecuación 3-42:** calor total necesario en el proceso de secado

$$Q_{\text{total}} = Q_{\text{agua}} + Q$$

$$Q_{\text{total}} = 3498,35 \text{ KJ} + 1002,243 \text{ KJ}$$

$$Q_{\text{total}} = 4500,593 \text{ KJ}$$

➤ *Cocción*



$$Q_{\text{ganado}} = Q_{\text{perdido}}$$

**Ecuación 3-43:** cálculo del calor generado por el hueso

$$Q_h = Q_s + Q_p \quad (1)$$

Donde:

$Q_h$  = calor generado por el hueso (KW)

$Q_s$  = calor suministrado (KW)

$Q_p$  = calor perdido por las paredes del recipiente de cocción (KW)

Para calcular la  $Q_p$  necesitamos el área de transferencia de calor generado por el recipiente utilizado, para ello utilizamos la siguiente fórmula:

**Ecuación 3-44:** cálculo del área de transferencia de calor

$$A = (2\pi) \times (r) \times (h) \times (\pi) \times (r^2)$$

**Donde:**

$A$  = área de transferencia de calor ( $m^2$ )

$r$  = radio del recipiente de cocción (m)

$h$  = altura del recipiente de cocción (m)

Datos del recipiente utilizado:

$$h = 26 \text{ cm}$$

$$dm = 33 \text{ cm}$$

$$A = (2\pi) \times (0,165 \text{ m}) \times (0,26 \text{ m}) \times (\pi) \times (0,165 \text{ m}^2)$$

$$A = 0,023 \text{ m}^2$$

**Ecuación 3-45:** cálculo del calor perdido en las paredes del recipiente de cocción

$$Q_p = K_{acero} \times (A) \times (\Delta T) \quad (2)$$

Donde:

$Q_p$  = calor perdido por las paredes del recipiente de cocción (KW)

$K_{acero}$  = coeficiente de transferencia de calor del recipiente de cocción  $\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$

$A$  = área de transferencia de calor ( $m^2$ )

$\Delta T$  = diferencia de temperatura (T de cocción – T ambiente) ( $^\circ C$ )

$$Q_p = 16 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \times (0,023 \text{ m}^2) \times (90^\circ C - 22^\circ C)$$

$$Q_p = 25,024 \text{ W}$$

$$Q_p = 0,025 \text{ KW}$$

Calculamos el calor ganado por el hueso de res ( $Q_h$ ) con la siguiente fórmula:

**Ecuación 3-46:** cálculo del calor ganado por el hueso de res

$$Q_h = (m_m) \times (CP_h) \times (\Delta T) \quad (3)$$

Donde:

$Q_h$  = calor ganado por el hueso de res (KW)

$m_m$  = alimentación del recipiente de cocción  $\frac{Kg}{s}$

$CP_{hueso}$  = capacidad calorífica de huesos  $\frac{KJ}{kg \cdot ^\circ C}$

$\Delta T$  = diferencia de temperatura (T de cocción – T ambiente) ( $^\circ C$ )

Datos necesarios:

$$m_m = 0,167 \text{ kg/s}$$

$CP_h$  = según (Laidler,1993. p.2) la capacidad calorífica de huesos húmedos es de  $2,76 \frac{\text{KJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$  y de huesos secos  $1,3 \frac{\text{KJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$

$$Q_h = (m_m) \times (CP_h) \times (\Delta T)$$
$$Q_h = 0,167 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 2,76 \frac{\text{KJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \times (90^\circ\text{C} - 22^\circ\text{C})$$
$$Q_h = 31,34 \text{ KW}$$

Reemplazamos datos en la ecuación 1 y tenemos:

**Ecuación 3-47:** cálculo del calor suministrado por la caldera

$$Q_h = Q_s + Q_p$$
$$Q_h - Q_p = Q_s$$
$$31,34 \text{ KW} - 0,025 \text{ KW} = Q_s$$
$$31,315 \text{ KW} = Q_s$$

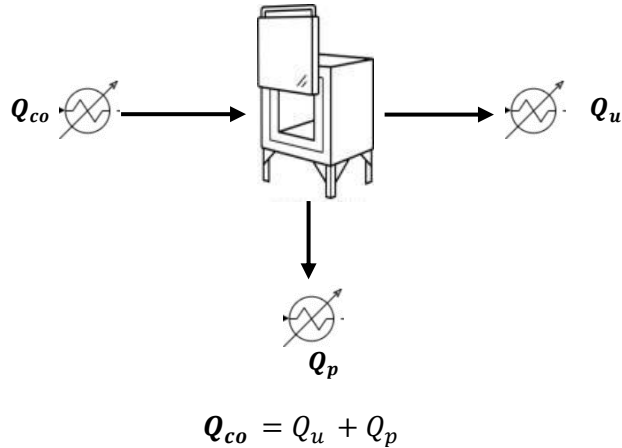
**Ecuación 3-48:** coeficiente global de transferencia de calor en el recipiente de cocción

$$Q_h = (U) \times (A) \times (\Delta T)$$
$$U = \frac{Q_h}{A \times \Delta T}$$
$$U = \frac{31,34 \text{ KW}}{0,023 \text{ m}^2 \times (90^\circ\text{C} - 22^\circ\text{C})}$$
$$U = 20,038 \frac{\text{KW}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

El calor de la caldera (31,315 KW) es el que se necesita para evaporar el agua durante un tiempo determinado y para que el equipo funcione de forma óptima en el proceso productivo. Además, se obtiene el coeficiente global de transferencia de calor (U), y su valor está directamente relacionado con el espesor y la conductividad térmica del material que transfiere calor, es decir, cuanto mayor sea el valor, más fácil es transferir calor desde la fuente a el producto que está siendo cocinado.

➤ **Calcinación**

De acuerdo con la ley de conservación de la energía, el calor liberado por el combustible en el horno es igual a la suma del calor requerido para el proceso de calentamiento y el calor perdido en el horno.



Donde:

$Q_{co}$  = calor liberado por el combustible (Kcal/h)

$Q_u$  = calor útil para la calcinación (Kcal/h)

$Q_p$  = calor total perdido en el horno (Kcal/h)

Calculamos el calor útil tomando en cuenta los siguientes parámetros:

**Ecuación 3-49:** calor útil de fusión

$$Q_u = Q_{carga\ metálica} + Q_{absorve\ el\ crisol}$$

Donde:

$Q_{carga\ metálica}$  = calor que se entrega a la carga metálica (Kcal/h)

$Q_{absorve\ crisol}$  = calor que es absorbido por el crisol (Kcal/h)

A su vez se debe calcular el calor que se suministra a la carga metálica con la siguiente ecuación:

**Ecuación 3-49:** cálculo del calor que ha de entregarse a la carga metálica

$$Q_{carga\ metálica} = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

Donde:

$Q_1$  = calor para elevar los °C de la temperatura ambiente hasta los °C de la temperatura de fusión del hueso.

$Q_2$  = calor latente de fusión por el peso de la carga.

$Q_3$  = calor total perdido en el horno (Kcal/h)

Con estas consideraciones reemplazamos los valores en la ecuación:

**Ecuación 3-50:** cálculo de  $Q_1$

$$Q_1 = \frac{(m) \times (C_p) \times (T_f - T_o)}{t}$$

Donde:

$m$  = peso de la carga (kg)

$C_p$  = calor específico (kcal/kg. °C)

$T_f$  = temperatura de fusión °C

$T_o$  = temperatura ambiente °C

$t$  = tiempo de fusión (h)

Datos necesarios:

$m = 4,5175$  kg

$C_p =$  huesos secos 1,3 kcal/kg. °C

$T_f = 750$  °C

$T_o = 22$  °C

$t = 3$  h

Reemplazamos datos:

$$Q_1 = \frac{(m) \times (C_p) \times (T_f - T_o)}{t}$$
$$Q_1 = \frac{4,5175 \text{ kg} \times 1,3 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \times (750^\circ\text{C} - 22^\circ\text{C})}{3\text{h}}$$
$$Q_1 = 4275,362 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

**Ecuación 3-51:** cálculo de  $Q_2$

$$Q_2 = \frac{(m) \times (C_p)}{t}$$

Donde:

$m$  = peso de la carga (kg)

$C_p$  = calor específico (kcal/kg. °C)

$t$  = 3 h

Datos necesarios:

$m$  = 4,5175 kg

$C_p$  = huesos secos 1,3 kcal/kg. °C

$t$  = 3 h

Reemplazamos datos:

$$Q_2 = \frac{(m) \times (C_p)}{t}$$
$$Q_2 = \frac{4,5175 \text{ kg} \times 1,3 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}}{3\text{h}}$$
$$Q_2 = 1,957 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

**Ecuación 3-52:** cálculo de  $Q_3$

$$Q_3 = \frac{(m) \times (C_p) \times (T_f - T_o)}{t}$$

Donde:

$m$  = peso de la carga (kg)

$C_p$  = calor específico (kcal/kg. °C)

$T_f$  = temperatura de colado °C

$T_o$  = temperatura de fusión °C

$t$  = tiempo de fusión (h)

Datos necesarios:

$m$  = 4,5175 kg

$C_p$  = huesos secos 1,3 kcal/kg. °C

$T_f$  = 800 °C

$T_o$  = 750 °C

$t$  = 3 h



Reemplazamos datos:

$$Q_3 = \frac{(m) \times (C_p) \times (T_f - T_o)}{t}$$
$$Q_3 = \frac{4,5175 \text{ kg} \times 1,3 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \times (800^\circ\text{C} - 750^\circ\text{C})}{3 \text{ h}}$$
$$Q_3 = 293,6375 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

Una vez obtenido los calores individuales, reemplazamos los datos en la ecuación 42-3 para encontrar el calor requerido que se entrega a la carga metálica.

$$Q_{\text{carga metálica}} = Q_1 + Q_2 + Q_3$$
$$Q_{\text{carga metálica}} = (4275,362 + 1,957 + 293,6375) \left( \frac{\text{kcal}}{\text{h}} \right)$$
$$Q_{\text{carga metálica}} = 4570,9565 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

Ahora debemos encontrar el calor que absorbe el crisol para calcular el calor útil de calcinación del material.

**Ecuación 3-53:** calor absorbido por el crisol

$$Q_{\text{absorve crisol}} = \frac{(m) \times (C_p) \times (T_f - T_o)}{t}$$

Donde:

$m$  = peso del crisol (kg)

$C_p$  = calor específico del crisol (kcal/kg. °C)

$T_f$  = temperatura de fusión °C

$T_o$  = temperatura ambiente °C

$t$  = tiempo de fusión (h)

Datos necesarios:

$m = 0,012 \text{ kg}$

$C_p = 0,31 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$

$T_f = 750 \text{ }^\circ\text{C}$

$T_o = 22 \text{ }^\circ\text{C}$

$t = 3 \text{ h}$

Reemplazamos datos:

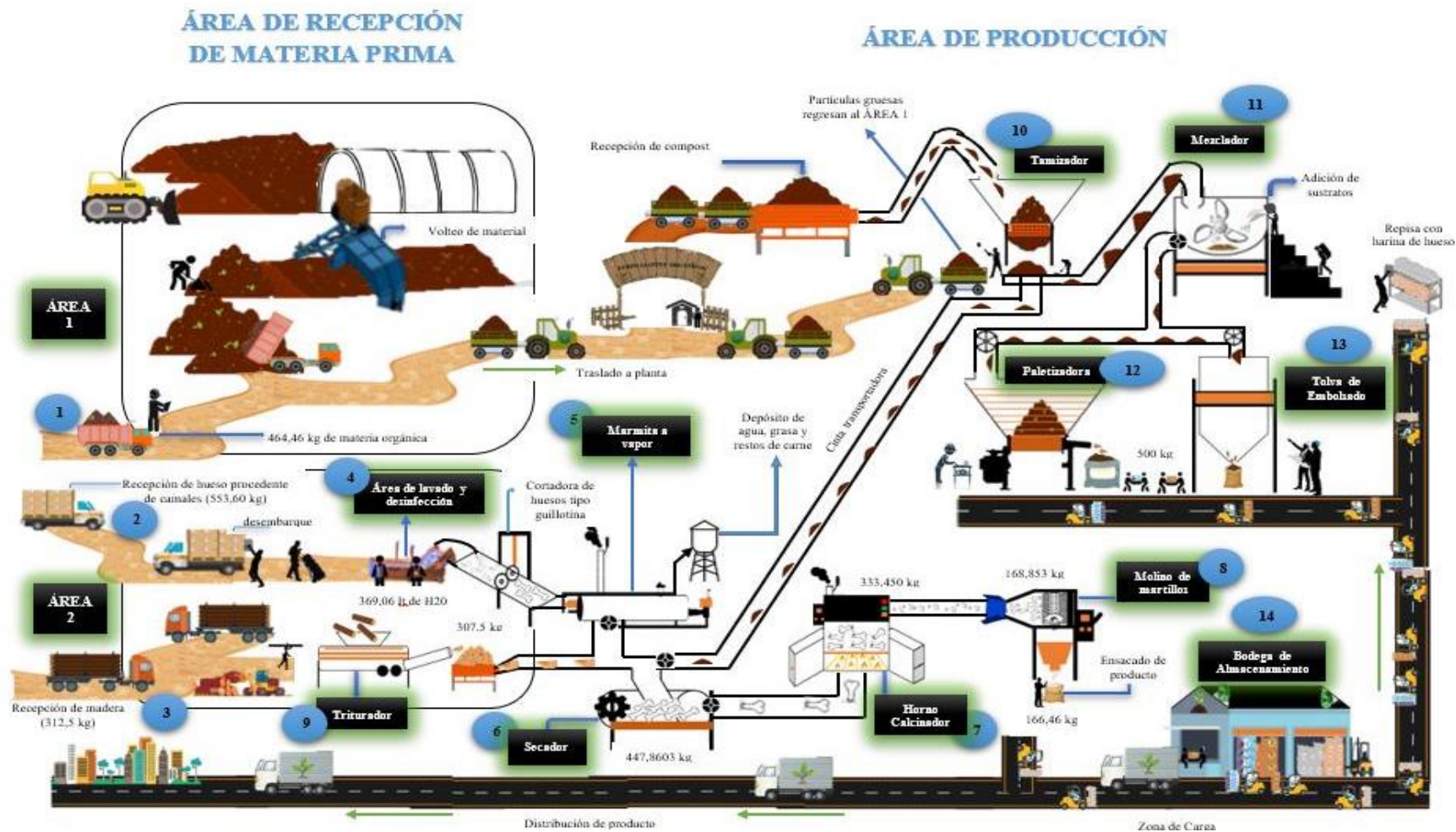
$$Q_{\text{absorve crisol}} = \frac{(m) \times (C_p) \times (T_f - T_o)}{t}$$
$$Q_{\text{absorve crisol}} = \frac{(0,012 \text{ kg}) \times (0,31 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}) \times (750^\circ\text{C} - 22^\circ\text{C})}{t}$$
$$Q_{\text{absorve crisol}} = 2,7081 \frac{\text{kcal}}{h}$$

Reemplazamos datos en la ecuación 41-3 y encontramos el calor útil que es requerido para la calcinación.

$$Q_u = Q_{\text{carga metálica}} + Q_{\text{absorve el crisol}}$$
$$Q_u = 4570,9565 \frac{\text{kcal}}{h} + 2,7081 \frac{\text{kcal}}{h}$$
$$Q_u = 4573,664 \frac{\text{kcal}}{h}$$

El calor útil obtenido es de 4573,664 kcal/h.

Una vez realizado los balances de masa y energía necesarios en cada etapa del proceso de elaboración de materia prima, se presenta una propuesta/plano de balance global para la producción de 500 kg de fertilizante sólido.



**Ilustración 3-29:** Propuesta de diseño para la producción de fertilizante orgánico

**Realizado por:** Aguilar, J., 2023.

### *3.2.3.5 Descripción de la propuesta de diseño industrial*

El proceso de producción se inicia con la recepción de la materia prima en áreas establecidas donde verificamos que el material entrante esté libre de sustancias indeseables que podrían perjudicar a la calidad del producto en los procesos posteriores.

Cabe señalar que para la producción del fertilizante se propone una producción por lotes, es decir, en la misma línea de producción de la harina de hueso se elaborará la ceniza de madera para posteriormente ser almacenados hasta obtener el compost que tarda alrededor de 60 días. Durante estas fases se debe priorizar la seguridad y limpieza de los equipos para que no se comprometa la calidad del producto obtenido.

#### **Harina de huesos**

El hueso proveniente de camales ingresa al área de recepción, donde debe utilizarse lo más pronto posible debido a que al ser un desecho se degrada más rápido produciendo malos olores y empeorando la calidad del producto, seguidamente es transportada al área de lavado y desinfección para limpiar posibles impurezas, seguidamente por las bandas transportadas pasa con una cortadera de huesos industrial con la intención de reducir el tamaño de los huesos entre 6 a 8 cm, con ello facilitamos la etapa de cocción, secado y calcinación.

Una vez que los huesos han sido cortados son depositados directamente al digestor batch de cocción, equipo utilizado para la esterilización y secado de materias primas de origen animal, en esta etapa se debe controlar la presión (50-60 psi), temperatura ( $\leq 110^{\circ}\text{C}$ ) y el tiempo (2 h aprox.) Finalizado el tiempo de cocción los huesos son llevados a un secador industrial con la intención de reducir la humedad y grasas retenidas en la etapa anterior, la temperatura debe permanecer entre  $75$  a  $80^{\circ}\text{C}$  por un tiempo de 3 horas. Los huesos totalmente secos continúan por medio de cintas transportadoras hacia el calcinador industrial, con la calcinación garantizamos la mayor concentración de Ca y la eliminación total de patógenos, la temperatura debe ser  $\leq 800^{\circ}\text{C}$  con un tiempo aproximado de 3 horas, o hasta observar que los huesos presenten una coloración blanquecina. En esta etapa se liberan vapores condensados produciendo fuertes olores, lo cual se recomienda el uso de mascarillas o máscaras.

Finalmente, los huesos presentan un aspecto blanquecino y frágil por lo que su trituración es fácil y rápida, para ello son llevados a un molino de martillos para pulverizar y desintegrar el material en su totalidad.

La harina de hueso obtenida es embolsada y almacenada en la bodega, las bolsas deben colocarse sobre repisas evitando el contacto directo con el piso previniendo humedad que pueda dañar el producto.

### **Ceniza de madera**

Terminado el proceso para la obtención de harina de hueso, se debe dar mantenimiento y limpieza a los equipos para proceder con la obtención del otro producto. Los troncos de madera son receptados y transportados hacia una trituradora industrial para la reducción de su tamaño y la separación de la cáscara debido a que puede contener impurezas o marcas de pintura, la trituración debe ser entre 15 a 18 cm para ser llevada al secador donde reduciremos humedad presente en la materia prima, la temperatura debe permanecer entre 75 a 80°C por un tiempo de 3 horas.

Finalizado el proceso de secado es llevada directamente al calcinador donde estableceremos 3 tiempos de calcinación. La madera de eucalipto al ser un residuo lignocelulósico presenta en su interior aceites que puede dificultar la etapa de calcinación, por lo cual se debe ejecutar de la siguiente manera:

<b>Tiempo</b>	<b>Temperatura</b>
1 hora	≤ 100°C
1 hora	≤ 300°C
2 hora	≤ 500°C

Finalizada la calcinación la madera está reducida totalmente a ceniza con restos de carbón presentes por lo que se lleva al molino de martillos para garantizar la pulverización total del producto, así mismo es embolsada y almacenada en la bodega.

### **Compost**

El compostaje es una tecnología beneficiosa para todos, que gestiona adecuadamente los residuos biodegradables y proporciona un producto de valor, y su aplicación en la tierra puede mejorar el medio ambiente y aumentar los rendimientos agrícolas.

Por tal motivo se ha considerado la realización de un compostaje a cielo abierto por su sencillez y economía. Los residuos orgánicos serán recolectados de las ciudades, agroindustrias y establecimientos agropecuarios, con ello se fomenta el reciclaje mejorando la calidad de vida de las personas. Con esta técnica damos un valor agregado a los residuos orgánicos, estableciendo así una economía circular ya que al concluir la vida útil de los residuos con los consumidores vuelve a ser reinsertado como materia prima para la elaboración de fertilizante (nutrientes) para

que pueda retornar a la naturaleza sin causar daños ambientales. Los residuos son categorizados realizando un análisis específico para observar que no sean residuos no peligrosos, los residuos se mezclan en proporciones adecuadas y se elaboran pilas de aproximadamente 100 metros de largo y 1.5 metros de alto.

Se debe controlar la remoción, aireado, humedad y temperatura para ayudar a generar las reacciones aeróbicas y obtener nutrientes más estabilizados lo que garantiza plantas más sanas y menos propensas a enfermedades.

El proceso dura de 60 a 70 días, una vez obtenido el compost se ingresa a la planta de producción donde pasa por un tamizador para separar lo fino de lo grueso, la materia gruesa regresa a las pilas de compostaje y el material fino es transportada hacia el secador para la reducción de humedad entre 5 a 6%, la temperatura no debe sobrepasar los 70°C por 3 horas para garantizar la no destrucción de nutrientes.

Seguidamente el compost es llevado a un mezclador donde se añade la harina de hueso y ceniza de madera ya obtenida previamente, el proceso conlleva un tiempo de duración de 30 a 60 min donde se garantiza la homogeneidad total de los sustratos.

La mezcla de sustratos es llevada a una tolva de embolsado donde el material es almacenado en bolsas en forma de polvo fino, o también es llevada a una paletizadora para que el producto sea presentado en forma de pellets donde se reduce el volumen y peso del producto garantizando un precio más amigable con el consumidor. Con el embolsado y almacenado del producto se concluye el proceso para la producción de fertilizante orgánico N-P-K.

El gran valor agregado que se obtiene del proceso industrial planteado es la diversidad en la presentación de productos de venta al público, debido a que se puede vender solo harina de hueso, ceniza de madera, compost o mezclas de N-P, N-K, P-K, para ello se realiza un estudio de mercado para evaluar la eficacia de la producción planteada.

#### *3.2.3.6 Variables que intervienen directamente en el proceso*

Con el balance de masa general interpretado, se ha identificado variables que intervienen directamente en el proceso de elaboración de fertilizante; se ha clasificado las variables y el proceso en la cual intervienen, tomando en cuenta que las variables independientes son la transformación de la materia prima y la dependiente el fertilizante óptimo.

Los detalles se expresan a continuación:

**Tabla 3-19:** variables que intervienen en el proceso industrial de producción de fertilizante orgánico

Variable Independiente	Proceso	Parámetro	Variable dependiente
Temperatura	Cocción	$\leq 110^{\circ}\text{C}$	FERTILIZANTE ORGÁNICO
	Secado	75 a $80^{\circ}\text{C}$	
	Calcinación	$\leq 800^{\circ}\text{C}$ para huesos $\leq 500^{\circ}\text{C}$ para madera	
Tiempo	Cocción	2 horas	
	Secado	3 horas	
	Calcinación	3 horas para huesos 4 horas para madera	
	Mezclado	30 a 60 min	
Granulometría	Cortadora industrial	6 a 8 cm	
	Trituradora	6 a 10 cm	
	Tamizado	De 15 a 20 mm para compost	
	Molienda	$\leq 1\text{ mm}$	
	Paletizadora	3 a 5 mm	
Presión	Cocción	50 a 60 psi	

Realizado por: Aguilar, J., 2023.

### 3.2.3.7 Operaciones y Procesos Unitarios que intervienen en el proceso

Las operaciones y procesos unitarios son la base fundamental de la ingeniería y constituyen el eje necesario para el diseño del proceso industrial, las OPE corresponden al cambio físico de la materia sin modificación de sus propiedades y los procesos unitarios corresponden al cambio físico y químico donde intervienen reacciones químicas que modifican la composición de la materia. Para la elaboración del fertilizante se han distinguido las siguientes operaciones:

#### Operaciones Unitarias

**Secado:** operación unitaria que consiste en la eliminación total de humedad presente en una muestra o alimento, esta acción impide la presencia y reproducción de microorganismos dañinos.

**Molienda:** consiste en la reducción total o parcial del tamaño de partícula de una muestra, acción que se realiza por acción mecánica o manual donde se aplica una fuerza que divide al material al tamaño deseado.

**Tamizado:** es un método utilizado para la separación de partículas o mezclas, el tamizado consiste en pasar la muestra por un determinado número de tamiz, lo cual hará que las partículas

de mayor tamaño que den retenidas en la malla que contiene el matiz mientras que las partículas finas pasan a un recipiente.

**Mezclado:** operación realizada por medios mecánicos que consiste en la combinación de distintos elementos.

**Cocción:** Esta operación unitaria consiste en modificar por acción del calor el aspecto físico y la composición de un alimento con el fin de lograr buena textura, aroma y sabor.

**Trituración:** al igual que la molienda es una operación unitaria que consiste en la reducción de tamaño de una partícula; pero en la trituración las partículas que se obtienen son más grandes a comparación de la molienda.

### **Procesos Unitarios**

**Calcinación:** operación que consiste en someter una muestra a temperaturas muy elevadas provocando la descomposición térmica, física y química.

### **3.3 Dimensionamiento de los Equipos**

A continuación, se presenta los cálculos ingenieriles de los equipos necesarios para llevar a cabo el proceso de elaboración de fertilizantes orgánicos con una capacidad de 500 kg nominales. A continuación, se detallan las siguientes especificaciones de los equipos a utilizar:

#### ***3.3.1 Diseño de un molino de martillos***

El molino de martillos ha sido escogido por su eficiencia, facilidad de construcción y la capacidad de producción de partículas muy finas, además resulta económico a comparación de otros equipos existentes en el mercado.

El molino se utilizará para la pulverización del hueso calcinado, tomando en cuenta que se tiene 171,246 kg de hueso calcinado proveniente del proceso, se estima una capacidad de producción del molino de 48 kg/h para garantizar la correcta pulverización del material y no sobrecalentar al equipo, se trabajará con un factor de seguridad de 3, factor recomendado de acuerdo con distintas fuentes bibliográficas.



### 3.3.1.1 Cálculo de la Molturabilidad

Se refiere al total del producto por unidad de tiempo de molienda, se estima 48 kg/h atravesando una malla No. 35 (500  $\mu\text{m}$ ).

**Ecuación 3-54:** Cálculo de la Molturabilidad en el molino de martillos

$$M_t = \frac{m_p}{t_m} \times 60$$

Donde:

$M_t$  = molturabilidad en kg/min.

$m_p$  = masa de producto que pasa a través del tamiz designado (kg).

$t_m$  = tiempo en cual el producto pasa por tamiz designado (min).

**60** = factor de conversión de min a horas.

$t_m$  se estima en 30 segundos (0,5 min) y  $m_p$  en 0,4 kg.

$$M_t = \frac{0,4 \text{ kg}}{0,5 \text{ min}} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}}$$
$$M_t = 48 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

### 3.3.1.2 Cálculo de las dimensiones de los martillos

Para las dimensiones es necesario considerar la masa que deben tener los martillos en el proceso de triturado por ello se parte de la siguiente ecuación.:

**Ecuación 3-55:** Cálculo de la masa de los martillos

$$m_m = \frac{F_c \times 3}{\alpha \times L}$$

Donde:

$m_m$  = masa de los martillos

$F_c$  = fuerza de corte media del hueso

**3** = factor de seguridad

$\alpha$  = aceleración angular

$L$  = largo del martillo

Por bibliografía:

$$L = 9 \text{ cm}$$

$$F_c = 38 \text{ N}$$

La fuerza de corte media de hueso está determinada por una serie de estimaciones de la fuerza de corte obtenida al aplicar una fuerza para la ruptura de un hueso pequeño.

#	Fuerza aplicada (P) N	Fuerza de Corte (Fc) N
1	20	40,425
2	18,5	37,39
3	18,5	37,39
4	18	36,38
5	17,5	35,37
6	17	34,36
7	17	34,36
8	14	28,29

**Ilustración 3-30:** Fuerzas de corte para ruptura de hueso

Fuente: (Fernandez Ordoñez 2013, p. 14)

Calculamos la aceleración angular con la siguiente ecuación:

**Ecuación 3-56:** Cálculo de la aceleración angular

$$\omega^2 = (\omega_o)^2 + 2\alpha x (\theta)$$

Donde:

$\omega^2$  corresponde a la velocidad angular, la cual por bibliografía para molinos de martillos la velocidad recomendada es de 2500-3500 rpm por lo cual se escoge un factor de 3000 rpm para no estar entre los límites establecidos.

$$\omega^2 = 3000 \text{ rpm} = 314,159 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$(\omega_o)^2 = 0$$

$$\theta = 6,28 \text{ rad}$$

Despejamos  $\alpha$  y reemplazamos datos:

$$\alpha = \frac{\omega^2}{2 \times \theta}$$

$$\alpha = \frac{(314,159 \text{ rad/s})^2}{2 \times 6,28 \text{ rad}}$$

$$\alpha = 7853,96 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$$

Reemplazamos datos para calcular la masa de los martillos:

$$m_m = \frac{38 \text{ N} \times 3}{7853,96 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2} \times 0,09 \text{ m}}$$

$$m_m = 0,16 \text{ kg}$$

Una vez calculado la masa del martillo determinamos el ancho con la siguiente ecuación:

**Ecuación 3-57:** Cálculo del ancho del martillo

$$a = \frac{m_m}{\rho \times e \times L}$$

Donde:

$a$  = ancho del martillo

$\rho$  = densidad del material con el cual se va a construir el martillo

$e$  = espesor del martillo

$L$  = largo del martillo

Como se consideró 9 cm para el largo del martillo, para el espesor tomamos un factor de 0,8 cm y el material de construcción es de acero inoxidable.

$$a = \frac{160 \text{ g}}{7,85 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \times 0,8 \text{ cm} \times 9 \text{ cm}}$$

$$a = 2,83 \text{ cm}$$

### 3.3.1.3 Cálculo de la energía requerida por el molino

Nos regimos por la ley de Bond, la cual permite calcular la energía y potencia requerida en equipos para reducción de tamaño.

**Ecuación 3-58:** Energía requerida por el molino

$$E = 0,3162 \times W_i \times \left( \frac{1}{\sqrt{D_{pp}}} - \frac{1}{\sqrt{D_{pa}}} \right)$$

Donde:

$W_i$  = índice de trabajo de bond para huesos calcinados

$D_{pp}$  = diámetro de las partículas del producto (mm)

$D_{pa}$  = diámetro de las partículas alimentadas (mm)

De acuerdo con (Roa 2019, p. 3) el índice de trabajo de Bond para materiales secos es de 8,9 kWh/tn

$D_{pp} = 0,8$  mm

$D_{pa} = 25$  mm

$$E = 0,3162 \times 8 \text{ kWh/tn} \times \left( \frac{1}{\sqrt{0,8}} - \frac{1}{\sqrt{25}} \right)$$

$$E = 2,32 \text{ kWh/tn}$$

### 3.3.1.4 Cálculo de la velocidad del motor

Para calcular la velocidad del eje principal del motor partimos de la velocidad angular recomendada por bibliografía, 3000 rpm y con el tamaño de las poleas prediseñadas del motor que se acota un valor aproximado según fuentes bibliográficas.

**Ecuación 3-59:** Cálculo de la velocidad del motor del martillo

$$N_2 = \frac{N_1 \times D_1}{D_2}$$

Donde:

$N_2$  = revolución de la polea grande (rpm)

$N_1$  = revolución angular (rpm)

$D_1$  = diámetro de la polea más pequeña (rpm)

$D_2$  = diámetro de la polea más grande (rpm)

$$N_2 = \frac{3000 \text{ rpm} \times 100 \text{ mm}}{200 \text{ mm}}$$

$$N_2 = 1500 \text{ rpm}$$

Los valores de D1 y D2 son valores promedios consultados sobre el diámetro que tienen las poleas de un molino de martillos. Los 1500 rpm corresponden a la velocidad en la que girará el motor, pero este valor solo es exacto cuando no existen deslizamientos de las correas sobre las poleas, pero este deslizamiento se da a partir de las 700 rpm reduciendo la velocidad en un 4% según lo expresado por (Roa 2019, p. 10).

El autor expresa la siguiente relación de la velocidad del motor multiplicado por el factor de reducción de velocidad.

$$N_2 = 1500 \text{ rpm} + (1500 \times 0,04)$$

$$N_2 = 1560 \text{ rpm}$$

Por lo tanto, para evitar dificultades de funcionamiento se debe escoger un motor igual o mayor a 1560 rpm.

### 3.3.1.5 Cálculo de la potencia requerida para la molienda

**Ecuación 3-60:** Cálculo de la potencia requerida por la molienda

$$P_{rm} = M_t \times E \times f_s$$

**Donde:**

$P_{rm}$  = potencia requerida por la molienda (HP)

$M_t$  = índice de molturabilidad calculado previamente (kw/h)

$E$  = energía requerida para la molienda (kw/tn)

$f_s$  = factor de seguridad establecido

$$P_{rm} = 48 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \times 2,32 \frac{\text{KWh}}{\text{tn}} \times 3$$

$$P_{rm} = 48 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \times 2,32 \frac{\text{kWh}}{\text{tn}} \times \frac{1 \text{ tn}}{1000 \text{ kg}} \times \frac{1 \text{ HP}}{0,746 \text{ KW}}$$

$$P_{rm} = 0,1493 \text{ HP} \times (3)$$

$$P_{rm} = 0,45 \text{ HP}$$

### 3.3.1.6 Cálculo de la potencia del motor

La potencia del motor resulta de la suma de la potencia requerida para la molienda y la potencia del molino. La cual es calculada por medio de la siguiente ecuación:

**Ecuación 3-61:** Cálculo de la potencia del motor de martillos

$$P = T \times W$$

Donde:

$P$  = potencia del molino

$T$  = torque

$W$  = velocidad angular establecida por la velocidad del motor (1560 rpm)

**Ecuación 3-62:** Cálculo del torque requerido para la potencia del motor

$$T = F_c \times D_1$$

Donde:

$F_c$  = fuerza de corte media del hueso establecida anteriormente (38N)

$D_1$  = distancia del eje principal hasta la punta del martillo (0,13m)

$$T = 38N \times 0,13m$$

$$T = 4,94 Nm$$

Con los datos obtenidos calculamos la potencia del molino

$$P = T \times W$$

$$P = 4,94 Nm \times 1560 rpm \times \frac{\pi}{30}$$

$$P = 806,9984 Watts \times \frac{1 HP}{745,7 Watts}$$

$$P = 1,08 HP$$

$\pi/30$  equivale a la transformación de rpm a rad/s.

Finalmente calculamos la potencia del motor con la suma de las dos potencias calculadas.

$$P_m = P_{rm} + P$$

$$P_m = 0,45 \text{ HP} + 1,08 \text{ HP}$$

$$P_m = 1,53 \text{ HP}$$

Por lo tanto, se seleccionará un motor de 2 HP para mayor seguridad.

### 3.3.1.7 Cálculo del volumen de la tolva de alimentación

**Ecuación 3-63:** Cálculo del volumen de la tolva de alimentación

$$V_{tolva} = \frac{\text{masa de la materia prima}}{\text{densidad de la materia prima}}$$

La masa de la materia prima corresponde a total estimado que entrará al proceso de molienda, en este caso y de acuerdo con la propuesta de diseño industrial se estima que entrará 171,246 kg de hueso calcinado y la densidad es de 2.3 g/cm<sup>3</sup> valor referido por el yeso, material muy similar al hueso calcinado que puede ser rayado fácilmente al presentar una dureza de 1-2 en la escala de Mohs.

Transformamos a kg/m<sup>3</sup>

$$2,3 \frac{g}{cm^3} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} \times \frac{1 \text{ cm}^3}{1 \times 10^{-6} \text{ m}^3} = 2300 \frac{kg}{m^3}$$

Por lo tanto, es el volumen de la tolva corresponde a:

$$V_{tolva} = \frac{171,246 \text{ kg}}{2300 \text{ kg/m}^3}$$

$$V_{tolva} = 0,08 \text{ m}^3$$

Uno de los factores decisivos en el volumen de la tolva recae en el ángulo de inclinación por la cual el material ingresará, este ángulo depende del coeficiente de fricción entre el material de acero y el hueso de res; por bibliografía tenemos 0,1 aproximadamente.

$$\emptyset = \tan^{-1}(0,1)$$

$$\emptyset = 5,71^\circ \simeq 6^\circ$$

### 3.3.1.8 Cálculo del volumen de armazón del equipo

**Ecuación 3-63:** Cálculo del volumen de la armazón del equipo

$$V_{armazón} = \frac{V_{tolva}}{\% \text{ de llenado}} \times 100$$

El % de llenado corresponde a la cantidad de materia prima que irá ingresando al equipo, por lo cual se recomienda que sea de máximo un 30% para evitar averías en el motor a la hora de funcionamiento.

$$V_{armazón} = \frac{0,08 \text{ m}^3}{30 \%} \times 100$$
$$V_{armazón} = 0,27 \text{ m}^3$$

### 3.3.2 Diseño de un tamizador industrial

El tamizado es una de las operaciones más sencillas y utilizadas en la industria, existen distintos tipos de tamizadores dependiendo del material que se desee separar. Para el diseño se ha escogido un tamizador vibratorio por requerimiento de la empresa, además por su bajo consumo de energía, alta productividad y costos comparado a tamizadores giratorios o centrífugos; igualmente el material que ingresa no se obstruye y se distribuye periódicamente entre la plancha receptora.

#### 3.3.2.1 Cálculo de la capacidad del equipo tamizador

El tamizador está enfocado directamente en la separación de partículas gruesas y finas del compost por tal motivo estará adecuada con un número de malla ideal para el paso de las 3 materias primas diferentes. En la propuesta de diseño se calculó que pasará por el tamiz 464,40 kg de compost donde una vez separada las partículas gruesas pasará al área de secado para su homogenización.

**Ecuación 3-64:** Cálculo de la capacidad del tamizador

$$m = \frac{kg}{día} \times \frac{1 \text{ día}}{8 \text{ h}}$$
$$m = \frac{464,40 \text{ kg}}{día} \times \frac{1 \text{ día}}{8 \text{ h}}$$
$$m = 58,05 \frac{kg}{h}$$



La relación expresa la cantidad de materia que el equipo tamizador podrá procesar por hora, dando un valor de 58,05 kg tomando en consideración que un día de trabajo corresponde a 8 horas laborales.

### 3.3.2.2 Cálculo del volumen de carga del equipo tamizador

Utilizamos la fórmula de la densidad y despejamos el volumen.

**Ecuación 3-65:** Cálculo del volumen de carga del tamizador

$$V_c = \frac{m}{\rho}$$

**Donde:**

$V_c$  = volumen de carga total del equipo

$m$  = capacidad del tamizador

$\rho$  = densidad del compost obtenido en la investigación (686,7 kg/m<sup>3</sup>)

Reemplazamos datos:

$$V_c = \frac{58,05 \text{ kg}}{686,7 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$$
$$V_c = 0,084 \text{ m}^3$$

### 3.3.2.3 Cálculo del tamiz y bandeja

Para el cálculo del tamiz a utilizar y la bandeja donde se depositará el material ya tamizado se tiene las siguientes fórmulas:

Volumen del tamiz

**Ecuación 3-66:** Cálculo del volumen de tamiz

$$V_t = \frac{V_c}{3}$$
$$V_t = \frac{0,084 \text{ m}^3}{3}$$
$$V_t = 0,028 \text{ m}^3$$

Área del tamiz

**Ecuación 3-67:** Cálculo del área del tamiz

$$A = a \times L$$

**Donde:**

$a$  = ancho del tamiz (1,05m)

$L$  = largo del tamiz (0,72)

Los valores de ancho y largo fueron estimados de acuerdo con un valor promedio para la fabricación de un tamiz vibratorio.

$$A = 1,05 \text{ m} \times 0,72 \text{ m}$$

$$A = 0,756 \text{ m}^2$$

Para el tamiz se ha seleccionado una malla N°35 correspondiente a 500  $\mu\text{m}$  según la norma ASTM debido a que se consideró un tamaño de partícula ideal en la realización de las pruebas de laboratorio según lo estipulado por las normas internacionales utilizadas en la caracterización de la materia prima. La malla será ajustada en 4 lados con tornillos autoroscables.

Otro factor importante para considerar es la altura con la cual el material caerá, para ello se estima un valor de 0,05 m a este valor se le suma un rango de prevención del 15%, valor recomendado por la probabilidad de más caída de material estimado en poco tiempo.

**Ecuación 3-68:** Cálculo de la altura del material al tamiz

$$h = 0,05\text{m} + 0,05\text{m}(0,15)$$

$$h = 0,058 \text{ m}$$

#### 3.3.2.4 Cálculo de la carga existente en la bandeja

La carga distribuida en la bandeja se calcula con la siguiente expresión:

**Ecuación 3-69:** Cálculo de la carga de material en la bandeja

$$q = \frac{m}{A}$$

Donde:

$q$  = carga existente en la bandeja  $\text{kg/m}^2$

$m$  = capacidad del tamizador

$A$  = área del tamiz

$$q = \frac{58,05 \text{ kg}}{0,756 \text{ m}^2}$$

$$q = 76,79 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

### 3.3.2.5 Cálculo de la elasticidad de los resortes

Los resortes constituyen un parámetro importante debido a que permiten que la máquina se mantenga estable cuando esté en funcionamiento, por tal motivo se ha escogido resortes de tipo helicoidal por su alta utilidad capacidad de elasticidad.

Por bibliografía estos resortes presentan las siguientes dimensiones:

$D=50\text{mm}$ ;  $d= 5\text{mm}$ ;  $N_a=6$ ;  $p= 10\text{mm}$ ;  $G= 8050 \text{ kg}$

**Ecuación 3-70:** Cálculo de la capacidad máxima de elasticidad de los resortes

$$C_e = \frac{G \times d^4}{8 \times D^3 \times N_a}$$

**Donde:**

$C_e$  = capacidad máxima de elasticidad  $\text{kg/mm}$

$G$  = módulo de cillazadura

$d$  = diámetro del alambre

$D$  = diámetro del resorte

$N_a$  = número de espiras activas

Reemplazamos datos:

$$C_e = \frac{8050 \text{ kg} \times (5\text{mm})^4}{8 \times (50\text{mm})^3 \times 6}$$

$$C_e = 0,838 \frac{\text{kg}}{\text{mm}}$$

### 3.3.2.6 Cálculo de la frecuencia propia

Los resortes seleccionados están sometidos a cargas dinámicas, por lo tanto, emiten frecuencias que se determinan con la siguiente ecuación:

**Ecuación 70-3:** Cálculo de la frecuencia propia

$$w = \frac{d}{D^2 \times N_a} \times \sqrt{\frac{G}{2P}}$$

P corresponde al peso de la carga que soportará el equipo (58,05 kg)

$$w = \frac{5mm}{(50mm)^2 \times 6} \times \sqrt{\frac{8050 kg}{2(58,05 kg)}}$$

$$w = 0.002775$$

### 3.3.2.7 Cálculo de la fuerza de vibración en el motovibrador

Componente principal para el funcionamiento del equipo, se consideró las siguientes características para la selección del motovibrador:

150 lb/fuerza

220- 440 Voltios

3600 rpm a trabajo continuo

**Ecuación 3-71:** Cálculo de la fuerza de vibración en el motovibrador

$$Fv = Amp \times 0,56 \times \left(\frac{Fpm}{1000}\right)^2 \times p$$

**Donde:**

**Fv** = fuerza de vibración requerida (kg)

**Amp** = amplitud de vibración (0,4mm)

**Fpm** = frecuencia de vibración (3600 rpm)

**p** = peso de la carga del equipo (58,05kg)

Reemplazamos datos:

$$Fv = 0,4 mm \times 0,56 \times \left(\frac{3600 rpm}{1000}\right)^2 \times 58,05 kg$$

$$Fv = 168,52 kg$$

### 3.3.2.8 Selección del motorreductor

Se seleccionó un motorreductor que esté más adecuado al equipo a diseñar para ello se verificó en distintas fuentes bibliográficas eligiendo el componente que presenta las siguientes características:

$$P_s = 0,746 \text{ KW}$$

$$P_e = 0,79 \text{ KW}$$

$$\text{Potencia} = 1 \text{ HP}$$

$$rpm = 3324$$

### 3.3.2.9 Cálculo de la eficiencia del motorreductor

**Ecuación 3-72:** Cálculo de la eficiencia del motorreductor

$$\varepsilon = \frac{P_s}{P_e} \times 100$$

**Donde:**

$\varepsilon$  = eficiencia del motorreductor (%)

$P_s$  = potencia de salida (KW)

$P_e$  = potencia de entrada (KW)

$$\varepsilon = \frac{0,746 \text{ KW}}{0,79 \text{ KW}} \times 100$$

$$\varepsilon = 94,43\%$$

### 3.3.3 Diseño de un Mezclador

La operación de mezclado es un eje primordial en el diseño del proceso, una vez que cada materia prima ha terminado su proceso de obtención, son depositadas en el mezclador con el fin de homogenizar la muestra y obtener el producto final.

El mezclador de paletas y de tornillo vertical conforman el grupo de los equipos más utilizados en la industria, la semejanza entre los dos es la eficiencia y la correcta homogenización.

Se ha escogido implementar un mezclador de paletas por su precio económico y fácil manejo, aunque requiere mayor consumo de energía para su funcionamiento. El diseño está enfocado en una capacidad de 500 kg.

### 3.3.3.1 Cálculo del volumen que ocupa el producto

De acuerdo con (Calaña 2010, p. 43) la densidad del abono orgánico es de 673,2 kg/m<sup>3</sup>.

**Ecuación 3-73:** Cálculo del volumen del producto en el mezclador

$$\rho = \frac{m}{V_{\text{producto}}}$$
$$V_{\text{producto}} = \frac{m}{\rho}$$
$$V_{\text{producto}} = \frac{500 \text{ kg}}{673,2 \text{ kg/m}^3}$$
$$V_{\text{producto}} = 0,74 \text{ m}^3$$

La eficiencia de la mezcla depende de una serie de factores por ello no es recomendable llenar al 100% el equipo para evitar saturaciones, un llenado del 60% es recomendable:

**Ecuación 3-74:** Cálculo del volumen del recipiente en el mezclador

$$V_{\text{recipiente}} = 0,74 \text{ m}^3 \times \frac{100\%}{60\%}$$
$$V_{\text{recipiente}} = 1,23 \text{ m}^3$$

Al conocer el volumen del recipiente se plantea las medidas generales del equipo como el diámetro y la longitud. El diámetro de un recipiente se estima en 965 mm y encontramos la longitud partiendo de la siguiente ecuación:

$$V_{\text{recipiente}} = \frac{\pi \times (d1)^2}{4} \times L$$

Despejamos L

**Ecuación 3-75:** Cálculo de la longitud en el mezclador

$$L = \frac{4 \times 1,23 \text{ m}^3}{\pi \times (0,965 \text{ m})^2}$$
$$L = 1,68 \text{ m}$$

### 3.3.3.2 Cálculo de la potencia del motorreductor

Como se mencionó no es recomendable que la máquina trabaje a máxima carga por ello el motorreductor contará con un factor de servicio de 1.2 factor que indica que el equipo está diseñado para trabajar con un 20% adicional de la carga propuesta.

$$500 \text{ kg} \times 1,2 = 600 \text{ kg}$$

$$V_{\text{producto}} = \frac{m}{\rho}$$
$$V_{\text{producto}} = \frac{600 \text{ kg}}{673,2 \text{ kg/m}^3}$$
$$V_{\text{producto}} = 0,89 \text{ m}^3$$

Por el volumen del producto obtenido se estima un motor de 2 HP.

### 3.3.3.3 Cálculo de la distribución del producto en el recipiente

**Ecuación 3-76:** Cálculo del volumen de medio cilíndrico ( $V_{mc}$ )

$$V_{mc} = \frac{\pi \times (d1)^2}{8} \times L$$

Reemplazamos los datos ya obtenidos previamente:

$$V_{mc} = \frac{\pi \times (0,965\text{m})^2}{8} \times 1,68 \text{ m}$$
$$V_{mc} = 0,61 \text{ m}^3$$

En la parte superior del cilindro puede quedar una parte del producto mezclado, por lo tanto:

$$V_{\text{superior}} = V_{\text{producto}} - V_{mc}$$
$$V_{\text{superior}} = 0,89 \text{ m}^3 - 0,61 \text{ m}^3$$
$$V_{\text{superior}} = 0,28 \text{ m}^3$$

Con los datos obtenidos calculamos la altura del producto.

**Ecuación 3-77:** Cálculo de la altura de caída del producto.

$$V_{superior} = h \times d_1 \times L$$

$$h = \frac{V_{superior}}{d_1 \times L}$$

$$h = \frac{0,28 \text{ m}^3}{0,965 \text{ m} \times 1,68 \text{ m}}$$

$$h = 0,17 \text{ m}$$

#### 3.3.3.4 Cálculo del volumen sometido a la mezcla por las paletas

**Ecuación 3-78:** Cálculo del volumen sometido a la mezcla en el equipo

$$V_1 = \frac{\pi \times (d_1^2 - d_2^2)}{8} \times L$$

Donde:

$d_2$  = ancho de las paletas

Para las dimensiones de las paletas se considera un diámetro de 964 mm y un ancho de 200 mm, para garantizar la mayor mezcla del producto.

$$V_1 = \frac{\pi \times (0,965 \text{ m}^2 - 0,2 \text{ m}^2)}{8} \times 1,68 \text{ m}$$

$$V_1 = 0,587 \text{ m}^3$$

Seguidamente se calcula la porción de volumen que puede quedar en la parte superior que entra en contacto con la paleta.

$$V_2 = (d_1 - d_2) \times h \times L$$

$$V_2 = (0,965 \text{ m} - 0,2 \text{ m}) \times 0,17 \text{ m} \times 1,68 \text{ m}$$

$$V_2 = 0,22 \text{ m}^3$$

Calculamos el volumen total que estará sometido a la mezcla.

$$V_{mezcla} = V_1 + V_2$$

$$V_{mezcla} = 0,587 \text{ m}^3 + 0,22 \text{ m}^3$$

$$V_{mezcla} = 0,807 \text{ m}^3$$



### 3.3.3.5 Cálculo del peso de la paleta para remover la mezcla

**Ecuación 3-79:** Cálculo del peso de la paleta para remover la mezcla

$$W_{mezcla} = V_{mezcla} \times \rho \times g$$

Donde:

$W_{mezcla}$  = peso de la mezcla en Newton

$\rho$  = densidad del abono orgánico

$g$  = gravedad

$$W_{mezcla} = 0,807 \text{ m}^3 \times 673,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$W_{mezcla} = 5329,50 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2} \cong 5329,50 \text{ N}$$

### 3.3.3.6 Cálculo de la potencia del motor para realizar la mezcla

**Ecuación 3-80:** Cálculo de la potencia del motor necesaria para la mezcla

$$\text{Potencia} = \frac{T \times n}{9550}$$

Donde:

$T$  = torque necesario para generar la mezcla

$n$  = revoluciones de las paletas (60 rpm por bibliografía)

El torque lo calculamos con la siguiente ecuación:

**Ecuación 3-81:** Cálculo del torque necesario para generar la mezcla

$$T = W_{mezcla} \times \frac{d_1}{2}$$

$$T = 5329,50 \text{ N} \times \frac{0,965 \text{ m}}{2}$$

$$T = 2571,48 \text{ Nm}$$

Ahora reemplazamos datos para calcular la potencia del motor:

$$\text{Potencia} = \frac{2571,48 \text{ Nm} \times 60 \text{ rpm}}{9550}$$

$$Potencia = 16,15 \text{ KW} \times \frac{1 \text{ HP}}{0,7457 \text{ KW}}$$

$$Potencia = 21,66 \text{ HP}$$

### 3.3.3.7 Diseño de las paletas

Las paletas giran de forma lenta en el centro del tanque garantizando homogenizar el material, comúnmente poseen un volumen de  $0,093 \text{ m}^3$  en un ángulo de inclinación de  $40^\circ$  valores tomados por bibliografía de los cuales partiremos para los cálculos correspondientes:

**Ecuación 3-82:** Cálculo de la masa volumen-paleta

$$Masa_{vol-paleta} = Volumen_{paleta} \times \rho_{abono}$$

$$Masa_{vol-paleta} = 0,093 \text{ m}^3 \times 673,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$Masa_{vol-paleta} = 62,60 \text{ kg}$$

Calculamos la fuerza centrípeta en el producto generado por el movimiento de las paletas.

**Ecuación 3-83:** Cálculo de la fuerza centrípeta generado por el movimiento de las paletas

$$F_c = m_{vol-paleta} \times a_c$$

Donde:

$F_c$  = fuerza centrípeta

$m_{vol-paleta}$  = masa desplazada por las paletas

$a_c$  = aceleración centrípeta

Para calcular la  $a_c$  empleamos la siguiente ecuación:

**Ecuación 3-84:** Cálculo de la aceleración centrípeta

$$a_c = \frac{V^2}{r} = \omega^2 \times r$$

Donde:

$\omega^2$  = revoluciones de las paletas (60 rpm por bibliografía)

$r$  = radio de las paletas (0,477 m)

El valor del radio es un valor promedio señalado por diversos autores el cual es un valor ideal para garantizar el diseño óptimo de la paleta y su eje.

Expresamos los rpm en rad/s.

$$60 \frac{rev}{min} \times \frac{1 min}{60 s} \times \frac{2 \pi}{1 rev}$$

$$6,283 \frac{rad}{s}$$

Reemplazamos los valores en la ecuación:

$$a_c = \omega^2 \times r$$

$$a_c = \left(6,283 \frac{rad}{s}\right)^2 \times 0,477 m$$

$$a_c = 18,83 \frac{m}{s^2}$$

Por lo tanto, la  $F_c$  que genera una paleta es:

$$F_c = m_{vol-paleta} \times a_c$$

$$F_c = 62,60 kg \times 18,83 \frac{m}{s^2}$$

$$F_c = 1178,76 N$$

### 3.3.3.8 Cálculo del diámetro del tanque

**Ecuación 3-85:** Cálculo del diámetro del tanque mezclador

$$V_c = \pi \times \left(\frac{D_t}{2}\right)^2 \times h$$

Donde:

$V_c$  = volumen del cilindro

$D_t$  = diámetro del tanque en m

$h$  = altura del tanque

El volumen del cilindro corresponde a la capacidad estimada de producción (500 kg) lo cual para calcular el diámetro del tanque tomaremos un volumen de 500 L, es decir,  $0,5 m^3$  y se establece una altura promedio de 1,5 m.

Despejamos  $D_t$

$$V_c = \pi \times \frac{D_t^2}{4} \times h$$

$$D_t^2 = \frac{4 \times V_c}{\pi \times h}$$

$$D_t^2 = \frac{4 \times 0,5 \text{ m}^3}{\pi \times 1,5 \text{ m}}$$

$$D_t^2 = 0,42 \text{ m}^2$$

$$D_t = \sqrt{0,42}$$

$$D_t = 0,65 \text{ m}$$

### 3.3.4 Diseño de una peletizadora de rodillos giratorios

La peletizadora es una propuesta para aumentar la presentación del producto, con ello el cliente podrá elegir entre un fertilizante en forma de pellets o en forma de polvo.

Para el diseño se ha escogido una paletizadora de rodillos giratorios con una capacidad de 100 kg/h, debido a que la calidad y soporte de los pellets es mejor en cuanto a retención, se estima un diámetro de 4 a 6 mm y largo de 7 a 10 mm lo recomendable para fertilizantes.

#### 3.3.4.1 Determinación de la tolva de alimentación

Para el dimensionamiento de la tolva se tomó en consideración el flujo másico del mezclador previamente diseñado, debido a que la planta está proyectada a que la mezcla realizada en el mezclador pase a una tolva de doble salida por facilidad para el ensacado del producto y la salida de la tolva irá conectada a la peletizadora.

Con esta referencia optamos por trabajar con una alimentación de 500 kg, calculaos el volumen del recipiente partiendo de la fórmula de densidad.

De acuerdo con (Calaña 2010, p. 43) la densidad del abono orgánico es de 673,2 kg/m<sup>3</sup>.

**Ecuación 3-86:** Cálculo del diámetro del tanque mezclador

$$\rho = \frac{m}{V_{\text{producto}}}$$

$$V_{\text{producto}} = \frac{m}{\rho}$$

$$V_{\text{producto}} = \frac{500 \text{ kg}}{673,2 \text{ kg/m}^3}$$

$$V_{\text{producto}} = 0,74 \text{ m}^3$$

### 3.3.4.2 Cálculo del volumen del tronco de pirámide de la tolva

**Ecuación 3-87:** Cálculo del volumen del tronco de la tolva en la peletizadora

$$V_t = \frac{(B_1 + B_2 + \sqrt{B_1 \times B_2}) h}{3}$$

Donde:

$V_t$  = volumen del tronco de pirámide

$B_1$  = área de base inferior ( $m^2$ )

$B_2$  = área de base superior ( $m^2$ )

$h$  = altura (m)

A su vez tenemos que  $B = L_1 \times L_2$

Donde  $L_1$  corresponde al largo de la boca de alimentación de la tolva y  $L_2$  al largo de la boca de salida. Por bibliografía se plantea los siguientes valores de acuerdo con el volumen del producto calculado  $0,74 \text{ m}^3$ .

Entonces tenemos:

$$L_1 = 0,6 \text{ m}$$

$$L_2 = 0,15 \text{ m}$$

$$h = 0,80 \text{ m}$$

$$B_1 = L_1 \times L_1$$

$$B_1 = 0,6 \text{ m} \times 0,6 \text{ m}$$

$$B_1 = 0,36 \text{ m}^2$$

$$B_2 = L_2 \times L_2$$

$$B_2 = 0,15 \text{ m} \times 0,15 \text{ m}$$

$$B_2 = 0,0225 \text{ m}^2$$

Reemplazamos datos:

$$V_t = \frac{(0,36 \text{ m}^2 + 0,0225 \text{ m}^2 + \sqrt{0,36 \text{ m}^2 \times 0,0225 \text{ m}^2}) 0,80 \text{ m}}{3}$$

$$V_t = 0,126 \text{ m}^3$$

### 3.3.4.3 Cálculo de la cámara de aglutinado

Presión en el cilindro

Para esta sección establecemos un área de cilindro de  $0,03 \text{ m}^2$  donde se establece que la masa del fertilizante se distribuirá en esa sección.

Obtenemos la fuerza y la presión aplicando las siguientes fórmulas:

**Ecuación 3-88:** Cálculo de la fuerza del cilindro en la cámara de aglutinado

$$f = m \times g$$

Donde:

$f$  = fuerza del cilindro de la cámara de aglutinado

$m$  = masa del fertilizante

$g = 9,8 \text{ m/s}^2$

$$f = 500 \text{ kg} \times 9,8 \frac{\text{s}}{\text{m}^2}$$

$$f = 4900 \text{ N}$$

Calculamos la presión del cilindro:

**Ecuación 3-89:** Cálculo de la presión del cilindro del equipo

$$P_c = \frac{f}{A_c}$$

$$P_c = \frac{4900 \text{ N}}{0,03 \text{ m}^2}$$

$$P_c = 163333,33 \frac{\text{N}}{\text{M}^2}$$

### 3.3.4.4 Cálculo de la velocidad de giro de los rodillos

Establecemos el diámetro de los rodillos según bibliografía (0,065 m) y un radio de 0,1 m.

**Ecuación 3-90:** Cálculo del perímetro de desplazamiento

$$P_o = 2\pi \times R$$

Donde:

$P_o$  = perímetro de desplazamiento

$R$  = radio de los rodillos

$$P_o = 2\pi \times 0,1 \text{ m}$$

$$P_o = 0,6283 \text{ m}$$

$$P_c = \pi \times \emptyset R$$

Donde:

$P_c$  = perímetro de rodillos

$\emptyset R$  = diámetro de los rodillos

$$P_c = \pi \times 0,065 \text{ m}$$

$$P_c = 0,2042 \text{ m}$$

Relación de perímetros:

$$R_p = \frac{P_o}{P_r}$$

$$R_p = \frac{0,6283 \text{ m}}{0,2042 \text{ m}}$$

$$R_p = 3,07$$

Entonces tenemos que la velocidad de giro es:

A mayor velocidad de giro mayor es la eficiencia del alimento aglutinado, por ello el número de revoluciones recomendado es de 500 rpm.

$$nr = R_p \times \# \text{revoluciones}$$

$$nr = 3,07 \times 500 \text{ rpm}$$

$$nr = 1538,4 \text{ rpm} \cong 161,10 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

### 3.3.4.5 Determinación del disco de corte

Por medio de este análisis se determinará la aceleración centrífuga del disco de corte de la peletizadora.

**Ecuación 3-91:** Cálculo de la aceleración del disco de corte

$$a = \frac{V_l^2}{r_c}$$

Donde:

$a$  = aceleración del disco de corte

$V_l^2$  = velocidad lineal del disco

$r_c$  = radio del disco de corte

El radio de disco del corte se establece en 0,099 m y la velocidad lineal se calcula por medio de la siguiente fórmula:

$$500 \text{ rpm} = 52,35 \text{ rad/s}$$

**Ecuación 3-92:** Cálculo de la velocidad lineal en el disco de corte

$$V_l = \# \text{revoluciones} \times r_c$$

$$V_l = 52,35 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \times 0,099 \text{ m}$$

$$V_l = 5,18 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Reemplazamos datos:

$$a = \frac{\left(5,18 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{0,099 \text{ m}}$$

$$a = 271,01 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

### 3.3.4.6 Selección de motor

Con las especificaciones centrales calculadas anteriormente se determina que la peletizadora es una máquina de fuerza por ello la potencia del motor recomendado es un motor eléctrico de 5 HP

### 3.3.5 Diseño de una marmita a vapor



Una marmita hace referencia a una olla de presión grande que permite la cocción de alimentos por la presión interna del vapor originado por la olla, con ello se garantiza la esterilización total de los materiales además de un corto tiempo de operación.

La marmita es ideal para la cocción de los huesos, además, añadiendo ácido acético se garantiza que el hueso quede libre de todo tipo de tejidos y grasas.

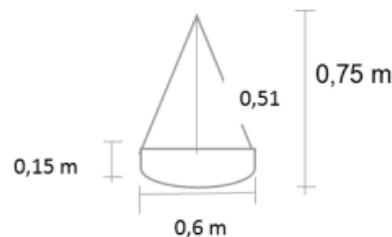
### 3.3.5.1 Cálculo del volumen de la marmita

Para obtener el volumen de la marmita partimos de la fórmula de densidad, en la cual se ha establecido una masa de 500 kg y densidad de 673,2 kg/m<sup>3</sup> conforme se ha expresado en la ecuación 85-3 este volumen obtenido (0,74 m<sup>3</sup>) le multiplicamos por un factor de seguridad de 1.25.

$$V_m = 0,74 \text{ m}^3 \times 1,25$$

$$V_m = 0,925 \text{ m}^3$$

### 3.3.5.2 Cálculo de la altura de la marmita



Las siguientes dimensiones fueron establecidas por comparaciones de fuentes bibliográficas para el diseño de marmitas.

Calculamos el volumen del sector esférico:

**Ecuación 3-93:** Cálculo del volumen del sector esférico de la altura de la marmita

$$V_{\text{sector esférico}} = \frac{2}{3} \pi \cdot R^2 \cdot h$$

Donde:

$R^2$  = radio de la esfera (m)

$h$  = altura del sector cónico (m)

$$V_{\text{sector esférico}} = \frac{2}{3} \pi \cdot (0,6 \text{ m})^2 \cdot (0,15 \text{ m})$$

$$V_{\text{sector esférico}} = 0,11 \text{ m}^3$$

Calculamos el volumen del cono:

**Ecuación 3-94:** Cálculo del volumen del cono

$$V_{\text{cono}} = \frac{1}{3} \pi \cdot r^2 \cdot h$$

Donde:

$r^2$  = radio del cono (m)

$h$  = altura del cono (m)

$$V_{\text{cono}} = \frac{1}{3} \pi \cdot (0,3 \text{ m})^2 \cdot (0,51 \text{ m})$$

$$V_{\text{cono}} = 0,048 \text{ m}^3$$

Volumen total de la cubierta esférica:

$$V_{\text{cubierta}} = V_{\text{sector esférico}} + V_{\text{cono}}$$

$$V_{\text{cubierta}} = 0,11 \text{ m}^3 + 0,048 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{cubierta}} = 0,158 \text{ m}^3$$

Volumen del cilindro:

$$V_{\text{cilindro}} = V_{\text{marmita}} - V_{\text{casquete}}$$

$$V_{\text{cilindro}} = 0,925 \text{ m}^3 - 0,158 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{cilindro}} = 0,767 \text{ m}^3$$

Con el volumen del cilindro calculamos la altura del cilindro:

**Ecuación 3-95:** Cálculo de la altura del cilindro

$$h = \frac{V_{\text{cilindro}}}{\pi \cdot r^2}$$

$$h = \frac{0,767 \text{ m}^3}{\pi \cdot (0,3 \text{ m})^2}$$

$$h = 0,679 \text{ m}$$

Para calcular la altura total de la marmita sumamos la altura del cilindro con la altura del cono establecida en la ilustración.

$$\begin{aligned}
 h_{marmita} &= h_{cilindro} + h_{cono} \\
 h_{marmita} &= 0,679 \text{ m} + 0,15 \text{ m} \\
 h_{marmita} &= 0,829 \text{ m}
 \end{aligned}$$

### 3.3.5.3 Cálculo del número de Reynolds

**Ecuación 3-96:** Cálculo del número de Reynolds

$$N_{Re} = \frac{n \times D^2 \times \rho}{\mu}$$

Donde:

$n$  = velocidad (rad/s)

$D$  = diámetro de la marmita (ft)

$\rho$  = densidad (lb/ft<sup>3</sup>)

$\mu$  = viscosidad (lb/ft-s)

Datos necesarios para 90°C (temperatura estimada de cocción)

$D = 0,4 \text{ m} (1,31 \text{ ft})$

$\rho = 974,7 \text{ kg/m}^3 (60,85 \text{ lb/ft}^3)$

$\mu = 0,015 \text{ lb/ft-s}$

$g = 32,17 \text{ ft/s}^2$

$n = 150 \text{ rpm} = 2,5 \text{ rad/s}$

Reemplazamos datos:

$$\begin{aligned}
 N_{Re} &= \frac{n \times D^2 \times \rho}{\mu} \\
 N_{Re} &= \frac{2,5 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \times (1,31 \text{ ft})^2 \times 60,85 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3}}{0,015 \frac{\text{lb}}{\text{ft-s}}} \\
 N_{Re} &= 1,74 \times 10^4
 \end{aligned}$$

#### 3.3.5.4 Cálculo de la potencia requerida

De acuerdo con (Barrera Delgado 2017) para un número de Reynolds de  $1,74 \times 10^4$  se tiene un número de potencia igual a 6. Por lo tanto, la potencia requerida se expresa como:

**Ecuación 3-97:** Cálculo de la potencia requerida del equipo

$$p = \frac{n_p \times n^3 \times D^5 \times \rho}{g}$$

Donde:

$n_p$  = número de potencia

$n^3$  = velocidad rad/s

$D$  = diámetro de la marmita (ft)

$\rho$  = densidad (lb/ft<sup>3</sup>)

$g$  = gravedad (ft/s<sup>2</sup>)

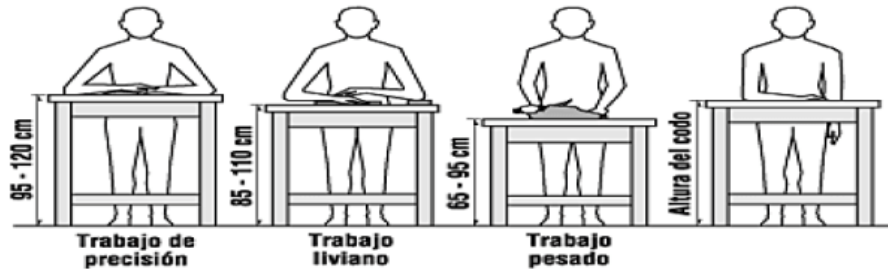
Reemplazamos datos de acuerdo con los 90°C estimados para la cocción:

$$p = \frac{(6) \times (2,5 \text{ rad/s})^3 \times (1,31 \text{ ft})^5 \times 60,85 \text{ lb/ft}^3}{32,17 \text{ ft/s}^2}$$
$$p = 684,13 \frac{\text{ft} - \text{lb}}{\text{s}} \cong 1,24 \text{ HP}$$

La potencia requerida para el funcionamiento de la marmita es de 1,24 HP por lo que se podría escoger un motor de 1,5 a 2 HP.

#### 3.3.6 Diseño de una mesa de limpieza y lavado para recepción de materia prima

La ergonomía del operario es una de las variables principales a considerar para el diseño de la mesa de recepción y selección de materia prima, otra variable importante es la cantidad de materia prima que va a ingresar; en este caso la mesa es diseñada para la recepción de los huesos de res con una cantidad de 738,13 kg.



**Ilustración 3-31:** Posiciones de trabajo del operario

Fuente: (Gómez 1974, p. 231)

La operación de lavado demanda un trabajo pesado por lo que se seleccionó se consideró una mesa tipo rectangular con medidas de 1,5 m de largo, 0,7 m de ancho, 0,95 m de altura y 0,10 m de profundidad según lo indicado por los manuales de ergonomía.

### 3.3.6.1 Cálculo del volumen de la mesa

**Ecuación 3-98:** Cálculo del volumen de la mesa

$$V_m = L_m \times a_m \times h_{\text{caja}}$$

**Donde:**

$V_m$  = volumen de la mesa de recepción

$L_{ms}$  = Longitud de mesa (1,5 m)

$a_{ms}$  = ancho de mesa (0,70 m)

$h$  = altura de cajas de selección (0,20m)

$$V_m = 1,5 \text{ m} \times 0,7 \text{ m} \times 0,20 \text{ m}$$

$$V_m = 0,21 \text{ m}^3$$

### 3.3.6.2 Cálculo de la capacidad aproximada de la mesa

Partimos de la fórmula de la densidad de la cual despejamos la masa, la densidad de los huesos de res de acuerdo con (Mahjoobin 2016b, p. 12) es de 983 kg/m<sup>3</sup>.

**Ecuación 3-99:** Cálculo de la capacidad de recepción de la mesa

$$m = \rho_{\text{hueso}} \times V$$

$$m = 983 \frac{Kg}{m^3} \times 0,21 m^3$$


$$m = 206,43 Kg$$

### 3.3.7 Cotización de otros equipos necesarios para el proceso

Los siguientes equipos no cuentan con fórmulas establecidas y acuerdos para su correcto diseño conforme se requiere en el proceso industrial, además el diseño requiere de más inversión económica del precio de mercado, por tal motivo se realizó una cotización de precios conforme a las necesidades de la planta y características del equipo.

#### 3.3.7.1 Triturador

**Tabla 3-20:** Especificaciones del triturador de madera

TRITURADOR DE MADERA LR-700		
Imagen	Detalles Generales	
	<b>Objetivo</b>	Trituración homogénea de madera.
	<b>Precio</b>	3100 \$
	<b>Funcionamiento</b>	Un empujador giratorio mueve una serie de cuchillas logrando un triturado de 6 a 10 cm o menor conforme el usuario requiera.
	<b>Ventajas</b>	Bajo consumo de energía. Requiere poco mantenimiento. Mecanismo automático.
Especificaciones Técnicas	Unidad	Valor
Capacidad nominal	KW	18,5
Diámetro del rotor	mm	300
Velocidad del rotor	r/min	98
Abertura de alimentación	mm	700 x 1065
Peso	kg	1800
Capacidad de producción	kg/h	65-70
Voltaje	Volt	220

Fuente: (Maltas 2014, p. 2)

Realizado por: Aguilar, J., 2023.

#### 3.3.7.2 Secador

**Tabla 3-21:** Especificaciones del secador industrial de bandejas

SECADOR INDUSTRIAL DE BANDEJAS DE AIRE CALIENTE		
Imagen	Detalles Generales	
	<b>Objetivo</b>	Reducción de humedad de una muestra
	<b>Precio</b>	3080 \$
	<b>Funcionamiento</b>	Las paredes liberan un flujo de aire caliente que calienta al material y elimina la humedad.

	<b>Ventajas</b>	Capacidad para 16 bandejas de 27 x 18 cm o aplicación directa. Tiempo de calentamiento rápido. Ahorro de energía y electricidad.
<b>Especificaciones Técnicas</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Potencia	KW	16
Voltaje	Volt	380
Dimensiones internas	mm	Largo: 1550 × ancho: 1200 × alto: 850
Dimensiones externas	mm	Largo: 2200 × ancho: 1840 × alto: 1010
Peso	kg	680
Capacidad	Kg	40
Temperatura máxima	°C	150
Flujo de aire	m <sup>3</sup> /h	3450

**Fuente:** (Cárdenas y Ortega 2010, p. 5)

**Realizado por:** Aguilar, J., 2023.

### 3.3.7.3 Calcinador

**Tabla 3-22:** Especificaciones de la mufla industrial

<b>HORNO DE MUFLA INDUSTRIAL RX3-75</b>		
<b>Imagen</b>	<b>Detalles Generales</b>	
	<b>Objetivo</b>	Calcinación y fundición de materiales.
	<b>Precio</b>	6,350\$
	<b>Funcionamiento</b>	Las cámaras cerradas con aislamiento térmico elevan la temperatura del horno de forma progresiva por encima de los 800°C
	<b>Ventajas</b>	Gran capacidad de carga Preservación y uniformidad de temperatura. Eleva la temperatura en poco tiempo.
<b>Especificaciones Técnicas</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Potencia	KW	75
Voltaje	Volt	380 trifásico
Temperatura máxima	°C	1050
Frecuencia	Hz	50
Peso	Tn	5.2
Capacidad de carga	Kg	1200 máximo
Dimensiones	mm	Largo: 1800 x ancho: 900 x profundidad: 550

**Fuente:** (Mullo 2012, p. 9)

**Realizado por:** Aguilar, J., 2023.

### 3.3.7.4 Cortadora de huesos tipo guillotina

**Tabla 3-23:** Especificaciones de la cortadora de huesos

CORTADORA AUTOMÁTICA TIPO GUILLOTINA		
Imagen	Detalles Generales	
	<b>Objetivo</b>	Corte homogéneo de cualquier material.
	<b>Precio</b>	1800 \$
	<b>Funcionamiento</b>	La cuchilla fabricada con acero al carbono cae por gravedad accionada por un control automático hacía una plancha de acero permitiendo el corte instantáneo de cualquier material.
	<b>Ventajas</b>	Corte rápido y preciso de materiales de dureza $\leq 7$ . Funcionamiento automático. Ahorro de energía.
Especificaciones Técnicas	Unidad	Valor
Potencia	KW	7,5
peso	Tn	1,5
Dimensión global	mm	Largo: 980 x ancho: 1600 x alto: 1700
Espesor de corte	mm	4 - 6
Grosor de corte	mm	30 - 350
Velocidad de corte	rpm/min	1440
Voltaje	Volt	220
Frecuencia	Hz	60

Fuente: (Ramos 2010, p. 37)

Realizado por: Aguilar, J., 2023.

### 3.3.7.5 Tolva de embolsado

**Tabla 3-24:** Especificaciones de la tolva de distribución de producto

TOLVA FIJA DE DOBLE SALIDA		
Imagen	Detalles Generales	
	<b>Objetivo</b>	Descarga fácil y rápida de contenido.
	<b>Precio</b>	1200 \$
	<b>Funcionamiento</b>	El producto cae por gravedad hacía un área en forma de embudo que permite una contralada y fácil descarga.
	<b>Ventajas</b>	No requiere instalaciones especiales. Paredes altas para aumentar el volumen. Dos líneas de descarga.
Especificaciones Técnicas	Unidad	Valor
Control	-	Manual
Capacidad de carga	m <sup>3</sup>	4,8
Material de construcción	-	Acero al carbón
Dimensiones	m	Alto: 3,3 x Largo: 2,44 x Ancho: 2,26

Fuente: (Barrera Delgado 2017, p. 10)

Realizado por: Aguilar, J., 2023.

## 3.4 Estudio de viabilidad técnica y económica del proyecto

El estudio de viabilidad es una parte sustancial de mayor relevancia del proyecto para poder garantizar el éxito del fertilizante antes de salir al mercado. La propuesta de diseño y producción



planteada depende del presente análisis para descubrir si su establecimiento es factible y rentable, para ello se tomarán en cuenta todos los factores directos e indirectos que afectan al proyecto.

El proceso industrial se ha elaborado para una producción de 500 kg de fertilizante al día.

### 3.4.1. Inversión fija

La inversión fija hace referencia al presupuesto económico necesario para la adquisición de maquinaria y equipos que se utilizan en todo el ciclo productivo de elaboración del fertilizante orgánico. Los equipos y precios se detallan a continuación.

**Tabla 3-25:** Presupuesto de la inversión fija del proyecto

Equipo	Cantidad	Costo Unitario (\$)	Costo Total (\$)
Molino de martillos	1	1.415,85	1.415,85
Tamizador industrial	1	1.505,50	1.505,50
Mezclador	1	2.650,0	2.650,0
Paletizadora	1	2.600,0	3.600,0
Marmita a vapor	1	2.200,70	2.200,70
Triturador de madera LR-700	1	3.100,0	3.100,0
Secador industrial de bandejas	1	3.080,0	3.080,0
Horno mufla industrial	1	5.350,0	5.350,0
Cortadora automática tipo guillotina	1	1.800,0	1.800,0
Tolva fija de doble salida	1	1.200,0	1.200,0
Mesa de recepción de materia prima	1	350,0	350,0
<b>Total</b>			<b>26.252,05</b>

Realizado por: Aguilar, J., 2023.

### 3.4.2 Proyección de gastos de producción

**Tabla 3-27:** Costos de materia prima e insumos

Materia prima e insumos	Cantidad	Unidad	Costo unitario (\$)	Costo diario (\$)	Costo semanal (\$)	Costo mes (\$)	Costo año (\$)
Pollinaza	232,2	Kg	0,12	27,864	139,32	557,28	6.687,36
Huesos de res	553,60	kg	0,40	221,44	1.107,2	4.428,8	53.145,60
Madera	312,5	Kg	0,30	93,75	468,75	1.875,00	22.500,00
Ácido acético	15	Lt	0,90	13,5	67,5	270,00	3.240,00
Sacos de polipropileno	15	-	0,05	0,75	3,75	15,00	180,00
<b>TOTAL</b>				<b>357,304</b>	<b>1.786,52</b>	<b>7.146,08</b>	<b>85.752,96</b>

Realizado por: Aguilar, J., 2023.

Las cantidades de materia prima reflejadas en la 39-3 corresponden a las cantidades calculadas anteriormente de materia prima inicial que nos permitía conocer la cantidad de producto final para producir los 500 kg de fertilizante y los costos unitarios corresponden al valor establecido por centros de distribución a una escala mayor.

En el caso de la elaboración del compost se menciona solo la pollinaza en una relación 50/50 debido a la que la materia orgánica necesaria como restos de futas, verduras, etc, será recolectado de las ciudades fomentando el reciclaje y orientándose hacia una economía circular. Por tal motivo no se consideran gastos a excepción de un operario para la recolección de desechos.

En el caso del ácido acético empleado en la cocción representa un gasto grande para la empresa, motivo por el cual se decidió bajar su contenido de aplicación y añadir 15 lt por lote.

**Tabla 3-28:** Costos de trabajadores en la empresa

Personal	Cantidad	Salario Mensual (\$)	Gasto Mensual (\$)	Gasto Anual (\$)
Técnico	1	600	600	7.200
Operario	2	450	900	10.800
<b>TOTAL</b>			<b>1500</b>	<b>18.000</b>

Realizado por: Aguilar, J., 2023.

**Tabla 3-29:** Costos de servicios básicos

Servicio	Consumo diario	Costo mensual (\$)	Costo Anual (\$)
Electricidad (KW/h)	90	72,00	864,00
Agua Potable (m <sup>3</sup> )	20	66,24	794,88
<b>TOTAL</b>	110	<b>138,24</b>	<b>1.658,88</b>

Realizado por: Aguilar, J., 2023.

El consumo de los servicios básicos es una proyección aproximada tomando en cuenta la maquinaria y procesos en los cuales se emplea energía y agua potable.

### 3.4.3 Capital de operaciones

Con el capital de operaciones se conocerá el efectivo necesario que la empresa necesita para cubrir los costos y gastos a corto plazo dentro del proceso productivo, en este caso se proyecta la producción de 500 kg diarios lo que daría 10.000 kg por mes.

**Tabla 3-30: Gastos mensuales de producción**

<b>GASTOS MENSUALES</b>	
<b>DETALLE</b>	<b>COSTO TOTAL (\$)</b>
Gastos de materia prima e insumos	7.146,08
Costos de mano de obra	1500
Costos de servicios básicos	138,24
<b>TOTAL</b>	<b>8.784,32</b>
<b>TOTAL, ANUAL</b>	<b>105.411,84</b>

Realizado por: Aguilar, J., 2023.

Sumando todos los gastos directos calculados previamente nos proyecta un valor de 8.784,32 \$ que la empresa necesita para producir 10.000 kg de fertilizante al mes.

#### **3.4.4 Inversión total**

Para conocer la inversión total para la ejecución del proyecto se suma los costos del capital de operaciones con los costos de la inversión fija que hace referencia a la adquisición de las maquinarias y equipos.

**Tabla 3-31: Inversión total del proyecto**

<b>Denominación</b>	<b>Costo total (\$)</b>	<b>%</b>
Inversión fija	26.252,05	75 %
Capital de operaciones	8.784,32	25 %
<b>TOTAL</b>	<b>35.036,37</b>	<b>100%</b>

Realizado por: Aguilar, J., 2023.

Por lo tanto, la empresa necesita 35.036,37 \$ de inversión inicial para la ejecución del proyecto con una producción de 10.000 kg mensuales distribuidos en 500 kg por día.

#### **3.4.5 Costo de producción anual**

**Tabla 3-32: Costos de producción anual**

<b>Denominación</b>	<b>Costo total (\$)</b>	<b>%</b>
Material directo (materia prima)	85.752,96	81,36 %
Mano de obra	18.000	17,07 %
Servicios básicos	1.658,88	1,57 %
<b>TOTAL</b>	<b>105.411,84</b>	<b>100%</b>

Realizado por: Aguilar, J., 2023.

### 3.4.6 Cálculo del precio de venta al público

De acuerdo con (Jaramillo 1958, p. 211) para calcular el precio de venta unitario de un producto relacionamos los costos de producción para la elaboración del producto añadiendo un margen de ganancia, es decir, lo que se quiere ganar. La relación se expresa a través de la siguiente ecuación:

$$PVP = Gasto\ Semanal \times (0,30) + Gasto\ Semanal$$

Donde:

**PVP** = precio de venta unitario al público

**Gasto Semanal** = corresponde a los gastos semanales en la elaboración del fertilizante

**0,30** = índice del margen de ganancia, este valor se expresa a criterio propio considerando que un valor > 20% es relativamente bueno.

$$PVP = 8.784,32 \times (0,30) + 8.784,32$$

$$PVP = 11.419,616 \$$$

Para conocer el precio por unidad realizamos una regla de 3 simple con las unidades estimadas de producción al mes.

$$\begin{array}{r} 11.419,616 \$ \quad 400 \text{ unidades} \\ x \quad \quad \quad 1 \text{ unidad} \\ \hline 28,55 \$ \end{array}$$

Tenemos un valor de 38,06 \$ para las presentaciones de 25 kg que se ha estimado producir en esta propuesta técnica.

### 3.4.7 Puesta en marcha del proyecto

**Tabla 3-33:** Costos para la puesta en marcha del proyecto

Producto	Cantidad de unidades que sale al mercado	Costo unitario \$	Ingresos diarios \$	Ingresos semanales \$	Ingresos mensuales \$	Ingresos anuales \$
Fertilizante Orgánico	20 sacos al día	28,55	571	2855	11.420,00	137.040,00

Realizado por: Aguilar, J., 2023.

Al conocer los ingresos por ventas, determinamos las ganancias mensuales estimadas por la venta del fertilizante orgánico.

**Ganancia Mensual** = Venta Mensual – Inversión Mensual

**Ganancia Mensual** = 11.420,00 \$ – 8.784,32 \$

**Ganancia Mensual** = 2635,68 \$

### **3.4.8 Punto de Equilibrio**

El punto de equilibrio corresponde al punto donde los ingresos son iguales a los costos, por medio del punto de equilibrio podremos conocer a partir de que cantidad de ventas la empresa de fertilizantes comenzará a generar ganancias y conocer si nuestro proyecto es viable.

Para realizar el cálculo correspondiente aplicamos la fórmula propuesta por (Jaramillo 1958, p. 87).

$$PE = \frac{CFT}{1 - \frac{CVT}{VT}}$$

Donde:

**PE** = punto de equilibrio

**CFT** = costos fijos totales, correspondiente a la inversión total del proyecto.

**CVT** = costos variables totales, correspondiente a los costos de producción anuales.

**VT** = ventas totales estimadas al año.

$$PE = \frac{35.036,37}{1 - \frac{105.411,84}{137.016,00}}$$

$$PE = 151.895,93 \$$$

Margen de utilidad: 0,30

$$PE = 151.895,93 \$ \times 0,30$$

$$PE = 45.568,779 \$$$

Los resultados expresados muestran que la empresa necesita vender 45.568,779 \$ para alcanzar el punto de equilibrio.

### **3.4.9 Utilidad neta**

Por medio de la utilidad neta podremos conocer los beneficios económicos que tendrá la empresa, para ello restamos las ventas de los costos de producción que implica obtener el producto. La

utilidad neta es proyectada a 5 años para conocer en qué tiempo se podrá recuperar la inversión fija necesaria para implementar la empresa.

De acuerdo con los gastos, se estima que a lo largo de los años se sufrirá un reajuste del 2,5 % y las ventas subirán en un 3%. Este reajuste se lo realiza por prevención de cambios en el mercado, aumento de precios o competencias.

Por lo tanto, las ventas proyectadas anuales se le multiplica por (1,025) y los costos de las unidades vendidas el (1,03).

$$2,5 \% + 100 \% = 1,025$$

$$3\% + 100 \% = 1,03$$

**Tabla 3-34:** Flujo de caja en 5 años proyectados

Parámetro	Años Proyectados				
	2023	2024	2025	2026	2027
<b>Ventas anuales</b>	137.016,00 \$	140.441,4 \$	143.952,44 \$	147.551,25 \$	151.240,02 \$
<b>Costo de producción anual</b>	105.411,84 \$	108.574,20 \$	111.831,42 \$	115.186,36 \$	118.641,95 \$
<b>Utilidad neta o flujo de caja</b>	<b>31.604,16 \$</b>	<b>31.867,2 \$</b>	<b>32.121,02 \$</b>	<b>32.364,89 \$</b>	<b>32.598,07 \$</b>

Realizado por: Aguilar, J., 2023.

La tabla 45.3 nos indica la utilidad neta de cada año proyectado iniciando con un incremento de 263,04 \$ en el 2023 y terminando el 2027 un valor de 233,18 \$ de diferencia con el año anterior, los datos reflejan un promedio de 248,48 \$ de incremento monetario en cada año.

Para conocer la viabilidad económica del proyecto implementamos estos valores en el cálculo del TIR Y VAN.

#### **3.4.10 Valor Actual Neto (VAN)**

El Valor Actual Neto es el valor de los flujos futuros restando la inversión inicial, esto nos permitirá conocer la rentabilidad del proyecto en términos monetarios. El VAN se rige por la acción de tres condiciones:

VAN < 0 el proyecto genera pérdidas por lo que debería ser rechazado.

VAN > 0 el proyecto es viable obteniendo ganancias.

VAN = 0 el proyecto no genera ni beneficios ni pérdidas

Para el cálculo del VAN utilizamos la siguiente fórmula:

$$I = \frac{F}{(1 + i)^n}$$

Donde:

$I$  = inversión de cada año.

$F$  = flujo de caja estimado en cada año

$i$  = tasa de interés que se exige a la inversión.

$n$  = número de periodos de tiempo (años)

En la tabla 46-3 se resume los valores obtenidos en el cálculo del valor actual neto, el cual se estima una tasa de interés del 10% (0,10).

**Tabla 3-35:** Valor actual neto del proyecto

Inversión inicial		35.036,37 \$			
Año	Tiempo (n)	Flujo de caja	Interés	Ecuación	I
2023	0	31.604,16 \$	10%	$I = \frac{F}{(1 + i)^n}$	31.604,16 \$
2024	1	31.867,20 \$			28.731,05 \$
2025	2	32.121,02 \$			26.546,30 \$
2026	3	32.364,89 \$			24.316,22 \$
2027	4	32.598,07 \$			22.264,92 \$
<b>TOTAL</b>				<b>VAN</b>	<b>98.426,28 \$</b>

Realizado por: Aguilar, J., 2023.

Tenemos un VAN de 98.426,28 \$ esto quiere decir que se recupera la inversión inicial para la tasa que se está considerando del 10% y se tiene un excedente de 98.426,28 \$, el proyecto está agregando valor.

### 3.4.11 Taza Interna de Retorno (TIR)

La TIR es otro indicador clave de la rentabilidad de una empresa, con ello comprobamos si la tasa de rentabilidad es mayor a la tasa de interés.

Usando esta medida, se puede estimar la ganancia o pérdida de un proyecto de inversión específico. Esto se hace de acuerdo con los siguientes criterios:

TIR < *i* el proyecto es rechazado.

TIR > *i* el proyecto es aceptado.

TIR = *i* el proyecto indistinto.

### 3.4.11.1 Cálculo del TIR

Para conocer el porcentaje de la tasa interna de retorno hacemos uso de Microsoft Excel, donde utilizamos los valores del flujo de caja y restando la inversión inicial. Los valores son ingresados en el software insertando la siguiente función:

**Tabla 3-36:** Tasa interna de retorno

<b>Inversión Inicial</b>	- 35.036,37 \$
<b>Flujo de caja</b>	31.604,16 \$
	31.867,20 \$
	32.121,02 \$
	32.364,89 \$
	32.598,07 \$
<b>=TIR (valores; [estimar])</b>	

Realizado por: Aguilar, J., 2023.

Con los valores establecidos obtenemos un TIR de 87%, valor mayor a la tasa de interés de 10% por lo tanto el proyecto es factible de realizar.

### 3.4.11.2 Comprobación del TIR

**Tabla 3-37:** Comprobación del TIR

<b>Inversión inicial</b>		35.036,37 \$			
<b>Año</b>	<b>Tiempo (n)</b>	<b>Flujo de caja</b>	<b>Interés</b>	<b>Ecuación</b>	<b>I</b>
2023	0	31.604,16 \$	<b>87%</b>	$I = \frac{F}{(1+i)^n}$	31.604,16 \$
2024	1	31.867,20 \$			17.041,28 \$
2025	2	32.121,02 \$			9.185,57 \$
2026	3	32.364,89 \$			4.949,36 \$
2027	4	32.598,07 \$			2.665,79 \$
<b>TOTAL</b>				<b>TIR</b>	<b>65.446,16 \$</b>

Realizado por: Aguilar, J., 2023.

### 3.4.12 Período de recuperación

Al calcular el período de recuperación, se determinará el tiempo real esperado de retorno de la inversión y cuándo comenzarán a sentirse los primeros beneficios de la implementación del proyecto.



**Tabla 3-38:** Periodo de recuperación del proyecto

Periodo (años proyectados)	Flujo de caja (I)	Flujo acumulado
0	- 35.036,37 \$	- 35.036,37 \$
1	31.604,16 \$	- 3.432,21 \$
2	28.731,05 \$	25.298,84 \$
3	26.546,30 \$	51.845,14 \$
4	24.316,22 \$	76.161,36 \$
5	22.264,92 \$	98.426,28 \$

Realizado por: Aguilar, J., 2023.

La tabla 49-3 indica el flujo neto acumulado del proyecto en el periodo de 5 años proyectados, este valor fue calculado partiendo de la inversión obtenida en el VAN con una tasa de descuento del 10%, el periodo 0 con un valor de - 35.036,37 \$ es la inversión inicial del proyecto, a cada flujo (I) se le suma el valor del año siguiente, obteniendo un flujo acumulado de 98.426,28 \$ en el último año.

Con estos valores calculamos el periodo de recuperación (PDR) con la siguiente ecuación:

$$PDR = \text{último periodo acumulativo negativo} + \frac{|\text{último flujo acumulado negativo}|}{\text{flujo de caja del año siguiente}}$$

$$PDR = 1 + \frac{|- 3.432,21|}{28.731,05}$$

$$PDR = 1,12$$

1,12 equivale a 1 año 12 meses, es decir que al término del año 2 (2024) y comienzo del año 3 (2025) la inversión inicial de 35.036,37 \$ se recupera, es decir, su implementación y la producción.

### 3.4.13 Beneficio costo del proyecto

$$BC = \frac{BENEFICIO}{COSTO}$$

$$BC = \frac{98.426,28}{65.446,16}$$

$$BC = 1,50$$

Cómo se obtuvo en la relación Costo – Beneficio un resultado mayor a 1 podemos aceptar la inversión, es viable. Además, por cada dólar que se invierte se obtendrá 1,50 \$, es decir, que aproximadamente un 32% es de beneficio.

## CAPÍTULO IV

### 4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1 Compostaje

##### 4.1.1 Análisis de los materiales de partida

El control respectivo de los materiales iniciales garantiza su correcta utilización en el desarrollo de los procesos productivos. Los materiales utilizados en los tratamientos experimentales fueron revisados para descartar la presencia de materiales no deseados. Después de realizar las mezclas descritas en la tabla 13-3 se tomó una pequeña muestra para análisis de humedad y pH en los laboratorios de la institución.

La temperatura fue medida con un termómetro después de una hora de haber humedecido el material a compostar. Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 4-1:** Resultados de los parámetros analizados al inicio del proceso de compostaje

Parámetro	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3
Humedad	39,56%	41,23%	43,67%
Temperatura inicial	20°C	19°C	22°C
pH	6,65	6,43	6,41
Relación C/N inicial	29,29%	35,029%	44,27%

Realizado por: Aguilar, J., 2023.

Una relación C/N adecuada promueve el crecimiento y reproducción de los microorganismos. Normalmente estos intercambian 30 partes de C por 1 de N, de las cuales 20 partes son oxidadas a CO<sub>2</sub> para obtener energía y las 10 partes restantes son necesarias para la síntesis proteica. La relación C/N de los materiales a compostar tendrá que estar dentro del rango (25-35%), si los valores obtenidos están fuera de rango, se debe considerar los siguientes criterios:

**Valores menores:** pérdidas de N en forma de amoníaco

**Valores elevados:** el proceso se prolonga, necesita adición de N

el porcentaje de C/N se calcula dividiendo el % de C para el % de N de los elementos empleados, estos valores se pueden encontrar fácilmente en internet. Otro método más sencillo es con la utilización de la siguiente fuente web que permite calcular la relación de hasta tres materiales.

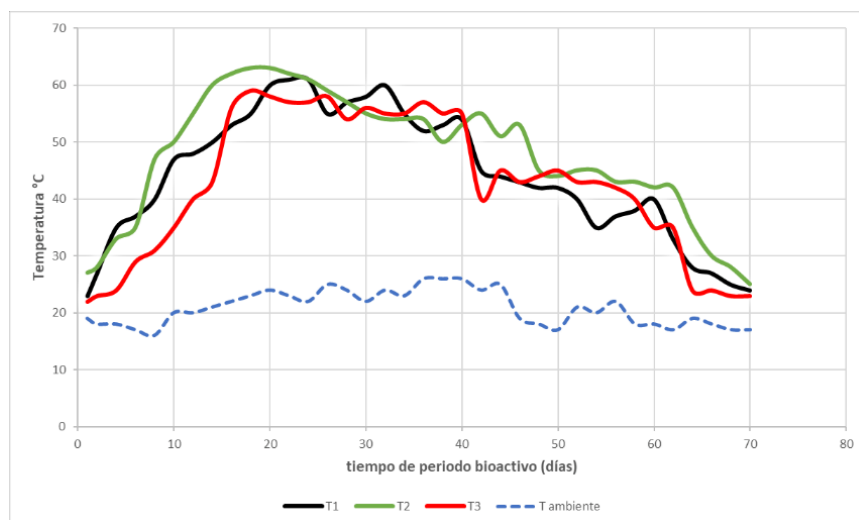
<https://compost.css.cornell.edu/calc/2.html>

#### 4.1.2 Evolución de la temperatura en los tratamientos de compostaje

La temperatura es el indicador físico más relevante durante el proceso de compostaje, de la temperatura depende la acción microbiana para la degradación de la MO y la higienización del proceso.

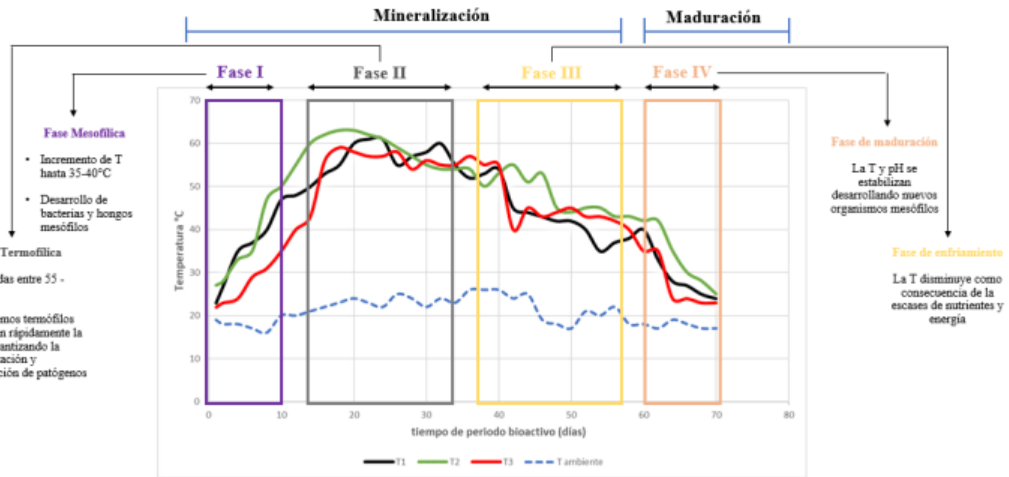
La aireación va de la mano con la temperatura puesto que, al realizar los volteos correspondientes en las pilas estamos proporcionando oxígeno a los microorganismos lo que provoca un aumento de temperatura y con ello la acción bacteriana.

En la ilustración 4-4 se muestra la evolución de la temperatura por tratamientos durante los 70 días que duró el proceso y en la ilustración 4-5 se muestra la clasificación de este aumento térmico por fases.



**Ilustración 4-1:** Desarrollo de la temperatura durante el proceso de compostaje

Realizado por: Aguilar, J., 2023.



**Ilustración 4-2:** Desarrollo de la temperatura por fases de compostaje

Realizado por: Aguilar, J., 2023.

Según se observa en la figura 41-4 las temperaturas del T1 y T2 tuvieron un crecimiento significativo de la temperatura durante la primera semana del proceso alcanzado rangos de  $\leq 50^{\circ}\text{C}$  este aumento nos indica la velocidad de las reacciones exotérmicas que realizan los microorganismos, en el caso de T3 la temperatura fue en aumento periódicamente alcanzando una temperatura promedio de  $35^{\circ}\text{C}$  en los primeros 10 días, esto se debe a la discrepancia en la relación C/N inicial, la cual se calculó en 44,27% porcentaje que indica la falta de N por lo tanto los microorganismos agotaron las únicas fuentes de N proporcionados por los otros materiales.

Entre los días 10 a 40 se nota un incremento prolongado de temperatura en los tres tratamientos realizados, logrando alcanzar el T1 una temperatura máxima de  $60\text{-}61^{\circ}\text{C}$ , T2  $62\text{-}63^{\circ}\text{C}$  y T3 valores inferiores a  $60^{\circ}\text{C}$ , a pesar de alcanzar las temperaturas mencionadas, la fase termófila fue discontinua, T1 y T3 se mantuvieron en un constante incremento y descenso de temperatura, esto se fue explicar por falta de humedad en las pilas provocando una escasa retención de agua por la incorporación de más materiales secos ricos en C como el aserrín y hojarasca.

En el T2 la temperatura descendió manteniéndose entre  $55^{\circ}\text{C}$  entre los días 20 a 35, a pesar de la discontinuidad presentada, los 3 tratamientos se mantuvieron en temperaturas  $\leq 60^{\circ}\text{C}$  por un periodo aproximado de 10 a 15 días, lo cual indica que el proceso ha realizado una correcta eliminación de patógenos e higienización. A partir del día 40 el

descenso de temperatura es significativo en T3 ya que las fuentes de energía han sido agotadas y los microorganismos no tienen alimento para degradar. De los días 40 a 70 la temperatura fue disminuyendo hasta alcanzar casi una temperatura ambiente, hasta el día 70 la fase activa del compostaje ha terminado, en esta etapa el compost entra a etapa de maduración donde los compuestos degradados se polimerizan para formar humus, este periodo puede durar alrededor de 80 días más.

#### 4.1.3 Caracterización del compost

Los valores obtenidos en la caracterización del compost del T2 se compararon con la norma NCH 2880 OF-2017 en la cual se indica la clasificación del compost de acuerdo con los niveles de calidad presentados.

**Tabla 4-2:** Resultados de calidad del compost de acuerdo a la norma NCH 2880

Análisis	Resultado	Unidad	NCH 2880 OF-2017	
			Clase A	Clase B
pH $\geq$	8,27	-	5,0-8,5	5,0-8,5
Carbono Orgánico	24,38	%	$\geq 11$	$\geq 11$
Nitrógeno total	2,25	%	$\geq 1$	$\geq 0,8$
Materia Orgánica	35	%	$\geq 20$	$\geq 25$
Relación C/N	10,83	-	$\leq 25$	$\leq 30$
Humedad base seca	1,717	%	$\leq 2$	$\geq 2$
P total	0,5316	%	$\geq 2$	$\geq 3$
K total	0,94	%	$\geq 0,7$	$\geq 0,5$
Ca total	1,14	%	$\geq 1$	$\leq 2$
Mg total	0,69	%	$\geq 0,5$	$\geq 1$
Densidad aparente	686,7	kg/m <sup>3</sup>	$\leq 700$	$\leq 900$

Fuente: (NCH-2880 2004, p. 20)

Realizado por: Aguilar, J., 2023.

Ecuador no cuenta con una normativa vigente acerca de compostaje debido a que no es una práctica muy habitual entre la población por ello se optó por normal internacionales para la caracterización y validación del producto.

La NCH 2880 es una norma chilena adaptada de normativas europeas que establecen la clasificación y requisitos de compost producido por residuos orgánicos y diferentes materiales de origen animal y vegetal.

La caracterización se realizó empleando las técnicas descritas en el apartado 3.2.1.2 del Capítulo II en el laboratorio de “Biorremediación” de la institución. Los recuadros marcados de color gris claro indican los valores dentro de la normativa y los marcados de color naranja claro indica el no cumplimiento de los requisitos.

Como se observa en la tabla 28-3 los resultados de los 5 primeros parámetros al igual que el K total se cumplen tanto para clase A y B, en el caso de la humedad, Ca, Mg y densidad relativa están dentro de los requisitos establecidos en la Clase A.

El P total es el único elemento que no cumple con los requisitos establecidos en los 2 parámetros encontrándose un valor  $< 1$  esto se debe a la falta de restos orgánicos de verduras o la falta de maduración en el proceso de compostaje debido a que el tratamiento se finalizó en un periodo de 70 días al concluir la fase activa de los microorganismos.

#### 4.1.4 Índice de Germinación

El índice de germinación corresponde a la prueba biológica más eficaz y sensible para comprobar si el compost presenta efectos fitotóxicos e interfiera en el correcto desarrollo de las raíces de la planta y en su aplicación al suelo.



**Ilustración 4-3:** Resultados del índice de germinación

**Realizado por:** Aguilar, J., 2023.

El test se realizó siguiendo la metodología planteada por (Gómez 2006, p. 4) la cual consiste en la incubación de semillas sensibles a fitotóxicos, siendo la más utilizada el berro de agua (*Lepidium sativum*) por 48 horas a una temperatura de  $27,5^{\circ}\text{C}$  sobre extracto acuoso de compost. El extracto acuoso se realiza pesando 2 g de la muestra la cual se humedece con 1,5 ml de agua destilada por 2 g de compost y se deja reposar por 30 minutos. Seguidamente a este extracto se añade 13,5 ml de agua por g de muestra seca consiguiendo una dilución del 10% las cuales son agitadas por 30 min y centrifugadas a 4000 rpm durante 10 minutos.

La dilución se filtra y en cajas Petri se coloca papel filtro con 8 semillas de berro, a esta caja Petri adicionamos 2 ml del extracto acuoso, se prepara 10 muestras y un blanco reemplazando la dilución de compost por agua destilada.

Los resultados se expresan con la formula siguiente:

$$IG\% = \frac{\%G \times \%L}{100}$$

Donde:

**IG%** = índice de germinación

**%G** = porcentaje de germinación

**%L** = porcentaje de crecimiento de las raíces

Para calcular el % G y % L se cuenta el número de semillas germinadas en las placas Petri y se mide la longitud de las raíces igualmente en cada placa, obteniendo un promedio respecto al número de semillas colocadas y a la longitud de raíces crecidas en la muestra en blanco, estos valores se expresan en porcentajes para calcular el IG.

Los valores obtenidos en el laboratorio son los siguientes:

De las 80 semillas plantadas germinaron 69, lo que equivale al 86,25% del total. La longitud de las raíces en el blanco presentó 3,5 mm y el promedio de la longitud de raíces en los extractos fue de 3,26 mm, dando un porcentaje de 93,14%. Por lo tanto, tenemos:

$$IG = \frac{86,25\% \times 93,14\%}{100}$$
$$IG = 80,33\%$$

Obtenido el IG se toman en cuenta las siguientes consideraciones expresadas por el autor:

IG < 50% = alta toxicidad

IG entre 50 a 80% = toxicidad controlada

IG > 80% = no presenta toxicidad

El IG presentado en el compost equivale al 80,33% por lo que se considera que su toxicidad es controlada y presenta cantidades muy significativas lo cual se puede emplear como abono sin producir daño al suelo y a las plantas.

## 4.2 Ceniza de Hueso

### 4.2.1 caracterización de la ceniza de hueso

La ceniza de hueso se caracterizó con la Norma Técnica Colombiana NTC 5167 la cual establece los siguientes parámetros.

**Tabla 4-3:** Resultados de la caracterización de la ceniza de hueso calcinado

Requisitos	Resultado	Unidad	Porcentajes en peso NTC 657	
			Mínimo	Máximo
Ca	12,5	%	>10	-
P	9,910	%	>9	-
Grasas	0,067	%	1	-
Humedad	0,117	%	1	2
N	1,525	%	0,1	-
K	0,5	%	0,1	-
pH	11,57	-	-	-

Realizado por: Aguilar, J., 2023.

Los valores expresados en la tabla 52-4 muestran que los resultados obtenidos en la caracterización de la ceniza de madera cumplen con los requisitos establecidos por la normativa por lo cual se declara acta para la fabricación del fertilizante. El pH alcalino se debe a la presencia de carbonatos y óxidos en pequeñas proporciones.

## 4.3 Ceniza de Madera

### 4.3.1 caracterización de la ceniza de madera

No existe una normativa que detalle específicamente los requerimientos necesarios para la caracterización fisicoquímica de la ceniza de madera, por ello se compara con estudios anteriores de fuentes primarias para su objetividad.



**Tabla 4-4:** Resultados de la caracterización de ceniza de madera de eucalipto

Requisitos	Resultado	Unidad	Revisión Bibliográfica
pH	10,49	-	> 4 y < 11
Humedad	0,19	%	< 1
Densidad relativa	512,34	kg/m <sup>3</sup>	500-600
N	1,1308	%	> 1
P	1,106	%	> 1
K	3,39	%	> 3
Ca	0,47	%	-
Mg	1,59	%	> 1

Realizado por: Aguilar, J., 2023.

#### 4.4 Formulación del fertilizante

##### 4.4.1 Resultados elementales de la materia prima

Los resultados realizados en el “laboratorio de instrumental” de la “Facultad de Ciencias” empleando el espectrofotómetro UV-Visible y el fotómetro de llama mostraron porcentajes elementales de cada materia prima. Las técnicas desarrolladas son garantizadas por su sencillez y exactitud.

**Tabla 4-5:** Resultados de la composición elemental de la materia prima

Análisis elemental de la materia prima			
Elemento	Compost	Hueso	Ceniza
N	2,25 %	1,525 %	1,1308 %
P	0,5316 %	9,910 %	1,306 %
K	0,94 %	0,5 %	3,39 %
Ca	1,14 %	12,5 %	0,47 %
Mg	0,69 %	0,46 %	1,59 %

Realizado por: Aguilar, J., 2023.

Los valores obtenidos son la fuente fundamental para la realización de la formulación final del fertilizante, conociendo el nivel de aportación de cada materia prima se fue adicionando al compost para enriquecerlo en cada elemento presentado.

**Tabla 4-6:** Resultados de las formulaciones realizadas


RESULTADOS DE LAS FORMULACIONES ESTABLECIDAS					
Elemento	F1	F2	F3	F4	Unidad
N	4,905	10,68	10,76	10,74	%
P	10,44	11,39	11,43	11,41	%
K	4,83	5,33	5,94	6,03	%
Ca	12,59	13,01	13,64	13,6	%
Mg	2,74	2,876	3,41	3,61	%

Realizado por: Aguilar, J., 2023.

#### 4.4.2 Validación del producto obtenido de acuerdo a la norma NTC 5167

Para la validación del producto se rigió por la Norma Técnica Colombiana 5167 la cual establece los requisitos mínimos en nutrientes en lo que respecta a abonos orgánicos.

**Tabla 4-7:** Norma NTC 5167 para productos orgánicos usados como fertilizantes

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA 5167			
		<b>PRODUCTOS PARA LA INDUSTRIA AGRÍCOLA</b> <b>PRODUCTOS ORGÁNICOS USADOS COMO ABONOS O FERTILIZANTES Y ENMIENDAS DE SUELO</b>	
		Clasificación del producto	Denominación del tipo
<b>ABONO ORGÁNICO</b>	Abono orgánico NPK de origen animal y vegetal	Producto sólido obtenido a partir de la estabilización de residuos de animales, vegetales, RSU o por diversos tratamientos, que conllevan a la mezcla de los anteriores o materias orgánicas vegetales.	<ul style="list-style-type: none"> <li>* N + P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> + K<sub>2</sub>O: 12%</li> <li>* C/N no mayor de 15</li> <li>* Cada nutriente debe ser al menos &gt; 3 %.</li> <li>* pH &gt; 4 y &lt; 9</li> <li>* Densidad máxima 0,7 g/cm<sup>3</sup></li> </ul> <p><b>Elementos secundarios</b> Se declara el contenido de elementos secundarios siempre y cuando estos estén presentes en las cantidades mínimas siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* &gt; 2 % de Ca</li> <li>* &gt; 2 % Mg</li> <li>* &gt; 3 % Na</li> <li>* &gt; 5 % S</li> </ul>

Fuente: (NTC ICONTEC 5167 2004, p. 5)

Realizado por: Aguilar, J., 2023.

Como se observa, no existen rangos máximos de elementos y contenidos según lo detalla la norma, por lo cual la F1, F2, F3, F4 entrarían dentro del rango y se podría escoger cualquiera de las tres formulaciones planteadas, sin embargo, criterio que se tomó en consideración para

seleccionar F3 fue por el contenido nutricional elevado que presentaba, siendo la única que presenta valores mayores.

Esto no influye con la norma debido a que los abonos orgánicos no son contaminantes ni perjudiciales en el suelo y plantas, y al ser de liberación lenta otorga múltiples beneficios al suelo, por lo tanto, no influye que los valores sobrepasen los establecidos por la norma.

Con esta caracterización se valida F4 estableciendo los siguientes resultados:

**Tabla 4-8:** Validación del fertilizante orgánico

Comparación de Resultados con la Norma NTC 5167				
Fórmula	Elemento	Valor	Parámetro Establecido	Parámetro Resultado
F3	N	10,76 %	N + P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + K <sub>2</sub> O: <b>12</b>	N + P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + K <sub>2</sub> O: <b>28,13</b>
	P	11,43 %	C/N no mayor de <b>15</b>	C/N: <b>1,505%</b>
	K	5,94 %	pH > <b>4</b> y < <b>9</b>	pH: <b>8,03</b>
	Ca	13,64 %	Densidad máxima <b>0,7 g/cm<sup>3</sup></b>	Densidad: <b>0,687 g/cm<sup>3</sup></b>
	Mg:	3,41 %		

Realizado por: Aguilar, J., 2023.

## 4.5 Procedimiento industrial y de laboratorio

### 4.5.1 Bases de cálculo para el proceso industrial

**Tabla 4-9:** Cantidades necesarias de materia prima para la producción industrial

Materia Prima	Cantidad de MP para la producción de 500 kg de fertilizante	Cantidad de componentes principales para la producción de la materia prima
Ceniza de hueso	166,67 kg	553,60 kg de hueso puro
Compost	208,33 kg	464,40 kg de compost
Ceniza de madera	125 kg	312,5 kg de madera
<b>Total</b>	<b>500 kg</b>	<b>1330,5 kg</b>

Realizado por: Aguilar, J., 2023.

#### 4.5.2 Rendimiento de los procesos industriales y balance de energía

**Tabla 4-10:** Rendimientos de los procesos industriales

<b>Ceniza de Hueso</b>	
<b>Proceso</b>	<b>Rendimiento</b>
Cocción	80,90%
Secado	74,45%
Calcinación	51,35%
Molienda	98,49%
Tamizado	98,58%
<b>Rendimiento Global</b>	<b>80,75%</b>
<b>Compost</b>	
<b>Proceso</b>	<b>Rendimiento</b>
Secado	63,79%
Molienda	92,80%
Tamizado	75,77%
<b>Rendimiento Global</b>	<b>77,45%</b>
<b>Ceniza de madera</b>	
<b>Proceso</b>	<b>Rendimiento</b>
Triturado	98,4%
Secado	92,10%
Calcinación	51,37%
Tamizado	85,83%
<b>Rendimiento Global</b>	<b>81,92%</b>

Realizado por: Aguilar, J., 2023.

Del rendimiento global de la ceniza de hueso (80,75%), compost (77,45%) y la ceniza de madera (81,92%) se obtiene un rendimiento general del proceso de elaboración de fertilizantes de 80,04% un valor relativamente bueno que garantiza el correcto desempeño y eficacia de la planta de producción propuesta.

**Tabla 4-11:** Valores obtenidos en el balance de energía del proceso

<b>Balance de Energía</b>				
<b>Proceso</b>	<b>Descripción</b>	<b>Compost</b>	<b>Ceniza de madera</b>	<b>Ceniza de hueso</b>
Secado	Q total del proceso	2720,12 KJ	4030,023 KJ	4500,543 KJ
Cocción	Calor suministrado por la caldera	-----	-----	31,315 KW
Calcinación	Calor útil para el proceso	-----	2294,92 kcal/h	4573,664 kcal/h

Realizado por: Aguilar, J., 2023.

#### 4.5.2 Resultados del dimensionamiento de equipos para la elaboración del fertilizante orgánico

**Tabla 4-12:** Resultados del diseño de equipos para el proceso industrial

Operación	Equipo	Variable	Símbolo	Valor	Unidad
Recepción y selección de la materia prima	Mesa Industrial	Volumen de la mesa	$V_m$	0,21	$m^3$
		Capacidad	$C_m$	206,43	kg
		Largo	$L_m$	1,5	m
		Ancho	$A_m$	0,7	m
		Altura	$h_m$	0,95	m
Cocción	Marmita	Volumen marmita	$V_m$	0,925	$m^3$
		Altura	$h_m$	0,829	m
		Potencia	$P_{marmita}$	2	HP
		Capacidad	$C_m$	50	kg/h
Calcinación	Horno mufla industrial	Potencia	$P_{mufla}$	75	KW
		Temperatura máxima	$T_{horno}$	1050	$^{\circ}C$
		Capacidad	$C_{horno}$	1200	kg
		Largo	$L_{horno}$	1800	m
		Ancho	$A_{horno}$	900	m
		Profundidad	$P_{horno}$	550	m
		Molienda	Molino de martillos	Capacidad	$C_{martillo}$
Energía del martillo	$E_{martillo}$			2,32	KW/tn
Velocidad del motor	$V_{m_{martillo}}$			1560	rpm
Potencia	$P_{molino}$			2	HP
Volumen de la tolva	$V_{tolva}$			0,08	$m^3$
Potencia de la molienda	$P_{molino}$			0,45	HP
Tamizado	Tamizador industrial	Capacidad	$C_{tamiz}$	58,05	kg/h
		Número de tamiz	$N_{tamiz}$	35 (500)	$\mu$
		Volumen de carga	$V_{C_{tamiz}}$	0,084	$m^3$
		Motorreductor	$M_{tamiz}$	1	HP
		Carga de las bandejas	$C_{b_{tamiz}}$	76,74	kg/ $m^2$
Mezclado	Mezclador industrial	Capacidad	$C_{mezclador}$	500	kg
		Volumen del producto	$V_{p_{mezclador}}$	0,74	$m^3$
		Potencia	$P_{mezclador}$	2	HP
Paletizado	Peletizadora de rodillos giratorios	Capacidad	$C_{peletizadora}$	100	kg/ h
		Potencia	$P_{peletizadora}$	5	HP
		Velocidad de giro de los rodillos	$V_{r_{peletizadora}}$	1538,4	rpm
		Velocidad del disco de corte	$V_{dc_{peletizadora}}$	5,18	m/s
Secado	Secador de bandejas de aire caliente	Potencia	$P_{secador}$	16	KW
		Capacidad	$C_{secador}$	40	kg
		Temperatura máxima	$T_{secador}$	150	$^{\circ}C$
		Flujo de aire	$F_{asecador}$	3450	$m^3/h$
Cortado	Cortadora de huesos tipo guillotina	Potencia	$P_{cortado}$	7,5	KW
		Velocidad de corte	$V_{C_{cortado}}$	1440	rpm/min
		Espesor de corte	$E_{C_{cortado}}$	4-6	mm
		Frecuencia	$F_{cortado}$	60	Hz
Trituración	Trituradora de madera	Capacidad	$C_{triturado}$	70	kg/ h
		Voltaje	$V_{O_{triturado}}$	220	Volt
		Abertura de alimentación	$C_{triturado}$	700 x 1050	mm
		Velocidad del rotor	$C_{triturado}$	98	rpm/min

Realizado por: Aguilar, J., 2023.

#### 4.6 Análisis de la viabilidad técnica y económica del proyecto

Para producir 500 kg/día, es decir, 200 unidades de 50 kg cada una, o 400 unidades de 25 kg, se evaluó la viabilidad técnica y económica del proyecto.

**Tabla 4-13:** Beneficio /costo del proyecto

Detalle	Valor (\$)
TIR	65.446,16 \$
VAN	98.426,28 \$
Beneficio/costo	1,50

Realizado por: Aguilar, J., 2023.

La tabla 61-4 indica que por cada dólar que se invierte se obtendrá 1,50 \$, es decir, que aproximadamente un 32% es de beneficio, por lo que, la inversión es factible y rentable.

Asimismo, con base a los resultados encontrados en el presente trabajo y lo expresado por (Jaramillo 1958, p. 103) , se analiza la factibilidad del proyecto, de acuerdo a los parámetros evaluados en la tabla 62-4:

**Tabla 4-14:** Parámetros financieros de la factibilidad del proyecto

Parámetros	Resultado
La Tasa Interna de Retorno (TIR) es mayor a la tasa de descuento	TIR: 97 % > 10%
El Valor Actual Neto (VAN) es mayor que la Inversión Inicial	98.426,28 \$ > 35.036,37 \$
Cuando la Recuperación de la inversión es menor a 10 años	1 año 12 meses < 10 años
Cuando el Coeficiente Beneficio / Costo es mayor a 1	1,50 > 1

Realizado por: Aguilar, J., 2023.

La tabla 62-4 expone que el proyecto es viable, es factible elaborar un fertilizante orgánico a base de tres fuentes de materia prima, estos resultados mantienen relación con el estudio elaborado por (Jaramillo 1958, p. 103) donde mencionan que el coeficiente de beneficio/costo es igual a 1, es decir, los ingresos son mayores que los egresos, lo que permite que se ejecute el proyecto y una recuperación de la inversión inicial de 1,5 años.

Así mismo en la presente tabla se resumen los gastos y beneficios mensuales del proyecto.

**Tabla 4-15:** Resumen de los gastos y beneficios mensuales

Gastos mensuales	8.784,32 \$
PVP unitario	28,55 \$
Venta mensual	11.420,00 \$
Margen de utilidad	0,30
Ganancia mensual	2.635,68 \$

Realizado por: Aguilar, J., 2023.

#### **4.7 Análisis y discusión de resultados**

La composición elemental de la materia prima y de las formulaciones realizadas fueron analizadas por medio del espectrofotómetro UV-Visible y el fotómetro de llama, de acuerdo con (Calaña 2010, p. 29) los métodos empleados son sensibles a cambios de temperatura y luz por lo que las muestras deben mantenerse libres de agentes contaminantes que puedan alterar los resultados. La aplicación de estas técnicas analíticas resulta eficaz por lo que los resultados expresados en el capítulo IV indican la presencia de N, P, K, Ca y Mg en cada muestra presentada.

El compost mostró una temperatura adecuada durante el proceso de descomposición por lo que los tratamientos se desarrollaron eficazmente, aunque el T2 en una proporción 50/50 de pollinaza y RSU mostró porcentajes de 2,25% de N, 0,93% de P y 0,54% de K, valores superiores a comparación del T1 y T2. Caracterizando con la NCH 2880 el compost se mantuvo dentro de los rangos establecidos a excepción del P que se requiere un valor  $\geq 2-3$  (Gómez 2006, p. 8).

Estudios realizados por (Thomas y James 2002, p. 13) indican que la deficiencia de P se debe a la falta de humificación del compost y por residuos orgánicos ricos en este elemento. En el caso de la harina de hueso se obtuvo 12,5% de Ca y 9,910% de P, los valores altos en esta materia prima se deben a la calcinación realizada, (Roa 2019, p. 2) explica que en la calcinación el hueso pierde toda materia orgánica y proteínas, pero se garantiza la inocuidad de la muestra al ser sometida a altas temperaturas concentrándose de mejor manera el fosfato tricálcico. Así mismo (Majee et al. 2020, p. 6) en su artículo relacionado a la producción de fertilizantes bioorgánicos utiliza huesos de pollo para la producción de la ceniza en un previo tratamiento en autoclave, secado y molienda, este procedimiento dio como resultado 10,5% de Ca y 7,910% de P valores más bajos a los obtenidos por calcinación pero no tan lejanos, lo que indica que la calcinación es el método recomendado para concentrar los elementos principales pero los huesos de pollo son también un fuente de materia prima ideal para realizar el proceso, aunque más difícil de adquirir.

Igualmente (Mahjoobin 2016a, p. 7) utiliza ceniza de cascarilla de arroz como fuente de potasio obteniendo 2,20 % de potasio (K), 1,59 % de magnesio y 15,70 % de sílice (Si), a diferencia de la ceniza de madera utilizada en el estudio se obtuvo 3,39 % de potasio (K) y un valor muy cercano al de magnesio, la diferencia radica en el contenido de sílice, aunque en el estudio no se realizaron pruebas de este elemento, fuentes bibliográficas señalan que contiene alrededor de 10 a 15% por lo que se garantiza que la ceniza de cascarilla de arroz concentra este elemento en mayores proporciones.

Por último, la combinación de estas tres fuentes de materia prima resultó ideal para formular un fertilizante óptimo de buenas concentraciones, el N se obtuvo al añadir a la mezcla harina de sangre, esto se lo realizó con el objetivo de observar los aportes que brindaba este nutriente por ello se adicionó 1,5 g a la mezcla de la F2 dándonos unos resultados excelentes, así mismo se adicionó harina de cáscara de guineo, secada y molida previamente. Diversos autores señalan que el guineo es una fuente excelente de potasio por lo que se decidió comprobar añadiendo igualmente en la F2 y F3 proporciones iguales de ceniza de madera con la harina de guineo, el resultado fue 5,94% de aportación de este nutriente.



## CONCLUSIONES

Se diseñó el proceso industrial para la elaboración de un fertilizante sólido a base de pollinaza para cultivos agrícolas, proceso orientado a una carga laboral de 5 días a la semana, con una producción de 500 kg/día, es decir, 400 unidades al mes en presentaciones de 25 kg. El proceso corresponde a una producción por lotes donde intervienen 6 operaciones unitarias con un rendimiento global del 80.04% procesando 166,67 kg de harina de hueso, 208,33 kg de compost y 125 kg de ceniza, obteniendo un total de 500 kg de fertilizante orgánico.

Se realizó la caracterización físico-química de la materia prima a utilizar, de acuerdo con la norma chilena NCH 2880 para compost y la norma colombiana NTC 657 para harina de hueso, en el caso de la ceniza de madera no existe una norma que regule el control de sus parámetros por lo cual se procedió a comparar con fuentes bibliográficas de investigaciones realizadas; en la caracterización llevada a cabo en el laboratorio de “Biorremediación” e “Instrumental” de la Facultad de Ciencias se priorizó el contenido de nutrientes esenciales de las muestras (N,P,K,Ca Y Mg) obteniendo 0.94% de K, 1.14% de Ca, 2.25% de N, 0.53% de P y 0.69% de Mg en el caso del compost; partiendo de estos resultados para el enriquecimiento de la muestra y formular el abono orgánico.

Se elaboró la formulación óptima del fertilizante orgánico a base de las fuentes de materia prima utilizadas, donde se expuso 4 formulaciones en proporciones: F1 (2-5-2), F2 (3-5-2), F3 (4-5-3) y F4 (4-5-4) de hueso, compost y ceniza respectivamente, eligiendo la F3 con un resultado elemental de 10,76% de N, 11,43% de P, 5,94% de K, 13,64% de Ca y 3,41 de Mg, pruebas realizadas en el espectrofotómetro UV-Visible y fotómetro de llama, equipos altamente sensibles y eficaces que garantizan buenos resultados. El porcentaje elevado de N se consiguió con adición extra de harina de sangre y para el K se añadió harina de cáscara de banano en conjunto con la ceniza de madera. Los resultados mostrados en los análisis correspondientes muestran un abono orgánico eficaz con características similares a ciertos fertilizantes químicos, lo cual lo convierten en un producto innovador en el mercado.

Se identificó las variables del proceso que intervienen directamente en la producción del fertilizante; siendo la temperatura, el tiempo, la presión y la granulometría los parámetros esenciales para que el proceso de desarrolle en óptimas condiciones. Seguidamente se realizó los cálculos de ingeniería necesarios para el dimensionamiento de 5 equipos principales y se cotizó los equipos restantes acorde a las necesidades de la empresa debido a que no existen fórmulas para su correcto dimensionamiento. Los equipos fueron diseñados para la producción de 500 kg con una estructura de acero inoxidable de tipo AISI 304.

Se validó el fertilizante obtenido a escala de laboratorio de acuerdo con la norma colombiana NTC ICONTEC 5167, norma que establece los requisitos mínimos de calidad para abonos orgánicos usados como fertilizantes. Los resultados obtenidos cumplen con los requisitos establecidos, al no existir un rango máximo de concentraciones elementales, el fertilizante fue aceptado pese a sus concentraciones elevadas, motivo por el cual se acoge como un buen abono orgánico, sus concentraciones elevadas son beneficios para el suelo y la planta garantizando buenos resultados en su aplicación.

Se realizó un estudio de viabilidad técnica y económica del proyecto a través de distintos parámetros financieros, concluyendo la rentabilidad del proyecto, debido a que el TIR presentó un porcentaje de 87%, valor mayor a la tasa de descuento del 10% estipulada en el cálculo del VAN, así mismo el valor actual neto presentó un valor de 98.426,28 \$ siendo mayor al valor financiero de la inversión inicial (35.036,37 \$). La inversión del proyecto se recupera en 1 año 12 meses con un coeficiente costo-beneficio de 1,50 y un PVP de 38,06\$ por presentación, valor accesible al público por los contenidos nutricionales que presenta el producto.

## **RECOMENDACIONES**

Una vez que el hueso ingresa en la fábrica debe ser procesado el mismo día para evitar contaminación odorífera por los olores desagradables que puede provocar la descomposición de los tejidos incrustados en su exterior.

Utilizar el respectivo EPP, principalmente en la etapa de cocción y calcinación del hueso por la liberación de vapores condensados de mal olor que puede ocasionar la transformación física de la materia prima.

Las variables y parámetros especificados en la propuesta técnica deben ser cuidadosamente controlados durante todo el proceso de fabricación para garantizar la calidad y seguridad del producto final.

Los residuos de la cocción del hueso pueden ser depositados en las pilas de compostaje para evitar ser desechados en los rellenos sanitarios, con ello se ayuda a controlar la contaminación del aire causada por malos olores presentes en los vertederos de basura.

Se recomienda indagar sobre aditivos que prolonguen la vida útil del producto garantizado que su contenido nutricional no sea afectado.

## **GLOSARIO**

**Aeróbico:** Organismo biológico que necesita un ambiente oxigenado para su correcto desarrollo.

**Agricultura sostenible:** Métodos de agricultura orgánica que ayudan a proteger el medio ambiente y producir alimentos saludables libres de contaminación.

**Anaeróbico:** Organismo biológico cuyo desarrollo requiere un ambiente libre de oxígeno para sobrevivir.

**Humificación:** Conversión de la materia orgánica en humus al final de su proceso de descomposición.

**Materia Orgánica:** Residuo orgánico nutricional compuesto por la descomposición de plantas, animales y organismos.

**Patógenos:** Microorganismos infecciosos que causan enfermedad y daño a huéspedes que habitan en un medio animal o vegetal.

**Proceso microbiano:** Conjunto de reacciones químicas que actúan sobre la conversión de nutrientes en la obtención de energía para sintetizar nuevos componentes.

**Relación C/N:** Es la división entre el carbono y el nitrógeno orgánicos.

## BIBLIOGRAFÍA

**ALVARADO, J.** Composición de la Pollinaza con diferentes camas en Costa Rica [en línea], 1997, 11(5). [Consulta: 2 noviembre 2022]. ISSN 20763417. Disponible en: DOI 10.3390/app11156884.

**ÁLVAREZ, D.; et al.** “Integrated management of inorganic and organic fertilizers in maize cropping”. *Agrociencia*, vol. 44 (2010), pp. 575–586. ISSN 14053195.

**BARRERA DELGADO, V.** Diseño de un proceso a escala industrial para la obtención de un fertilizante biodegradable a partir del lactosuero. (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba-Ecuador. 2017. pp. 34-142.

**BONEV, A.; & ALEXANDRO, O.** Caracterización Físico Química de abonos orgánicos. *Археология*. vol. 1, no. 6 (1993), pp. 117–125.

**BRANDTBERG, P.; et al.** “Effects of wood ash, green residues and N-free fertiliser on naturally regenerated birch and field vegetation in a young Norway spruce stand in SW Sweden”. *Scandinavian Journal of Forest Research*, vol. 36, no. 5 (2021), pp. 364–373. ISSN 16511891.

**CALAÑA, J.** Manual de Técnicas Analíticas para Abonos Orgánicos. [en línea], 2010, S.I. [Consulta: 15 de marzo 2022]. ISSN 16583655. Disponible en: [https://ediciones.inca.edu.cu/files/folleto/folleto\\_suelo.pdf](https://ediciones.inca.edu.cu/files/folleto/folleto_suelo.pdf).

**CAMPOVERDE, A.; & CASTILLO, M.** Estudio de factibilidad para la fabricación y comercialización de abono orgánico natural en base a restos de pescados que permita ser utilizado en los cultivos agrícolas de la provincia del Guayas. (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Universidad de Guayaquil. Guayaquil-Ecuador. 2015. pp. 24-50.

**CÁRDENAS, F.; & ORTEGA, E.** “Diseño y Construcción de una Máquina Secadora de Abono Orgánico para la planta de Abonos de Pronaca” [en línea]. 2010, S.I. [Consulta: 2 de marzo 2023]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2175/1/CD-2924.pdf>.

**COARITE, C.** Efecto de la ceniza en el manejo ecológico del tomate en Coroico. *Universidad mayor de San Andreas*. vol. 2, no. 1 (1986), pp. 15–25.

**CONAVE.** Sector Avícola en el Ecuador. [en línea]. S.l.: s.n. 2020. Disponible en: [Consulta: 2 marzo 2023]. ISSN 1658-3655. Disponible en: [www.conave.org](http://www.conave.org).

**FERNÁNDEZ ORDOÑEZ, V.** Creación de una empresa productora de harina a base de hueso de res para consumo animal y su comercialización en la provincia Loja (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Loja. Loja-Ecuador. 2013. pp. 1-176.

**GARCÍA VERA, G.** Influencia de los abonos orgánicos sobre las propiedades del suelo. (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Universidad Técnica de Babahoyo. Babahoyo-Ecuador. 2012. pp. 75-79.

**GÓMEZ, M.** *Manual de Ergonomía*. S.l.: s.n., 1974.

**GÓMEZ, R.** Compostaje de Residuos Sólidos Urbanos. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, vol. 39, no. 1(2005), pp. 85-92.

**GUZMÁN FLORES, J.** Fertilizantes químicos y biofertilizantes en México. *Boletines Cámara de diputados*. (2018), pp. 37. ISSN 0048-9697

**HAKKILA, P.** Utilization of Residual Forest Biomass. *New York: Springer-Verlag Berlin*. (2002), pp. 1-7. ISSN 978364271.

**HOYOS, Y.; & GODOY, K.** Elaboración de Abonos. *Applied Sciences (Switzerland)* [en línea], 2021, 11(5). [Consulta: 2 marzo 2023]. ISSN 20763417. Disponible en: DOI 10.3390/app11156884

**IFA.** Los fertilizantes y su uso. *Asociación Internacional de la Industria de los Fertilizantes*. vol. 20, no. 12 (1993), pp. 801-808. ISSN 14401681. Disponible en DOI: 10.1111/j.1440-1681.1993.tb03018.x.

**JARAMILLO, M.** Manual de Proyectos de Desarrollo Económico. 1958. pp. 258.

**LUNA, L.** Abonos Orgánicos y Bioinsumos. 2019. pp. 1-26.

**MAGAGULA, E.; et al.** “Effects of Chicken Manure on Soil Properties under Sweetpotato”. *Journal of Ageonomy*, vol. 3 (2010). pp. 36-43.

**MAHJOOBIN, M.** Ceniza de madera: Un nuevo fertilizante para la agricultura, vol. 9, no. 1 (2016). pp.2672-2689.

**MAHJOOBIN, M.** Harina de Carne y Hueso como alternativa de alimentación animal, vol. 9, no. 1 (2017). pp.267-689.

**MALTAS, A.** Ceniza de madera: un nuevo fertilizante para la agricultura suiza, vol. 6, no. 1 (2014). pp.232-239.

**MANOGARAN, M.D.; et al.** “A review on treatment processes of chicken manure”. *Cleaner and Circular Bioeconomy*, vol. 2, no.1 (2022). pp. 2-11.

**MERINO, A.** Evaluación del aporte de cenizas de madera como fertilizante de un suelo ácido mediante un ensayo de laboratorio. *Journal of Taibah University for Science* [en línea], 2001, 10(4), pp. 379-393. Consulta: [2 marzo 2023]. ISSN 1658-3655. Disponible en: [http://www.inia.es/gcontrec/pub/solla\\_1161156613093.pdf](http://www.inia.es/gcontrec/pub/solla_1161156613093.pdf).

**MINISTERIO DEL AMBIENTE Y MEDIO RURAL MARINO.** *Manual de compostaje casero. Amigos de la tierra* [en línea]. S.l.: s.n. 2010. Disponible en: [Consulta: 2 marzo 2023]. ISSN 1658-3655. Disponible en: [www.ambiente.gob.ec](http://www.ambiente.gob.ec).

**MORALES, W.; & MORENO, L.** Guía de Buenas Prácticas Avícolas. [en línea]. S.l.: s.n. 2017. Disponible en: [Consulta: 23 noviembre 2022]. ISSN 1098-6596. Disponible en: <https://www.agrocalidad.gob.ec/wp-content/uploads/2020/05/pecu4.pdf>.

**MULLO, G.** “Manejo y procesamiento de la pollinaza”. *Lasallista de Investigación*, vol. 2, no, 1, pp. 43-48.

**NCH2880. C.** *Proyecto de Norma en Consulta Pública - Compost Clasificación y requisitos* [en línea]. S.l.: Instituto Nacional de Normalización, pp. 1-27. 2003. [Consulta: 2 marzo 2023]. Disponible en: <http://www.ingeachile.cl/descargas/normativa/agricola/NCH2880.pdf>

**NTC 657.** Alimentos para Animales. Harina de Huesos. Colombia: s.n. 2004. pp. 27.

**NTC ICONTEC 5167.** *Productos Orgánicos usados como Abonos o Fertilizantes y Enmiendas del Suelo*. Colombia: s.n. 2004.

**OCHOA, M.; & URRUTIA, J.** “Uso de Pollinaza y Gallinaza en la Alimentación de Rumiantes”. *Instituto Nacional de Investigaciones Forestales*, vol. 26, no. 2 (2009), pp. 117-123.

**OMIL, B.** “Gestión de Cenizas como Fertilizante y Enmendante de Plantaciones Jóvenes de Pinus Radiata”. *Tecnología en marcha*, vol. 1, (2007), pp. 326.

**PALOMO, D.R.; & ZAMORA, J.R.** “Técnica de conservación de huesos en peróxido de hidrógeno”. *Medicina Legal de Costa Rica*, vol. 26, no. 2 (2009), pp. 117-123.

**PÉREZ, A.; et al.** “Caracterización física-química y biológica de enmiendas orgánicas aplicadas en la producción de cultivos en República Dominicana”. *Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal*, vol. 8, no. 3 (2008), pp. 10-29. ISSN: 07176352

**PÉREZ, H.** *Alternativas Agroecológicas de Producción*. S.l.: s.n 2006. pp. 1-62.

**ROA, J.** *Harina de Huesos*. S.l.: s.n. 2019. pp. 1-5.

**RAMOS, N.** Aprovechamiento del Desecho de Carne y Huesos de res para la Obtención de Harina de Carne y Hueso en la Fábrica Federer. S.l.: s.n. 2010. pp. 12.

**RODRÍGUEZ, S.; & GUERRA, L.** La gallinaza, efecto en el medio ambiente y posibilidades de reutilización. *Revista de Producción Animal*. vol. 32, no.3 (2020), pp. 1-13. ISSN 2224-7920

**ROMAN, P.** Manual de compostaje del agricultor. S.l.: s.n. 2013. pp. 3-15.

**SANCHEZ, D.A.** Efecto de la aplicación de la Pollinaza Semidescompuesta y Compostada en una mezcla forrajera en el cantón Cayambe. (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Universidad Técnica del Norte. Cayambe-Ecuador. pp. 1-83.

**THOMAS, D.V.** Calidad Nutricional y Variación de la Harina de Carne y Hueso. vol. 2, no.1 (2002). pp. 1507-1523.

**VALENCIA, A.R.** “Estabilizador de suelo a partir de Pollinaza. *Fondo Nacional Avícola*. vol. 3, no.1 (2010), pp. 28. ISSN 0379-3962.





## ANEXOS

### ANEXO A: RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS EN EL EQUIPO DUMAS



## ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

"Saber para Ser"



### REPORTE DE RESULTADOS DE ANÁLISIS Analizador elemental orgánico: Thermo Scientific, Flash-2000.

Riobamba, 2 de Diciembre de 2022

**Con atención:** Dr. Edmundo Caluña; tesista José Aguilar  
"Diseño del proceso industrial para la elaboración de un fertilizante sólido a base de pollinaza para cultivos agrícolas"

**Estándar utilizado:** BBOT (Elemental Microanalysis Ltd.)

Contenido en porcentaje: C= 72.58% ( $\pm$  0.26), N=6.53% ( $\pm$  0.11), H=6.10% ( $\pm$  0.08), S=7.41% ( $\pm$  0.08).  
\*. Incertidumbres al 95% de confianza, 2 sigma.

#### Resultados de análisis (3 muestras, 2 página)

Fecha de análisis	Muestras-estándares	Elemento (%)		
		N	C	H
2 de diciembre de 2022	estándar	6.30	72.25	5.97
	T1	0.87	7.74	1.04
	P	2.59	24.38	4.02*
	T2	0.92	10.79	0.68

\*: Medición sobre la curva de calibración (18%).

Atentamente.

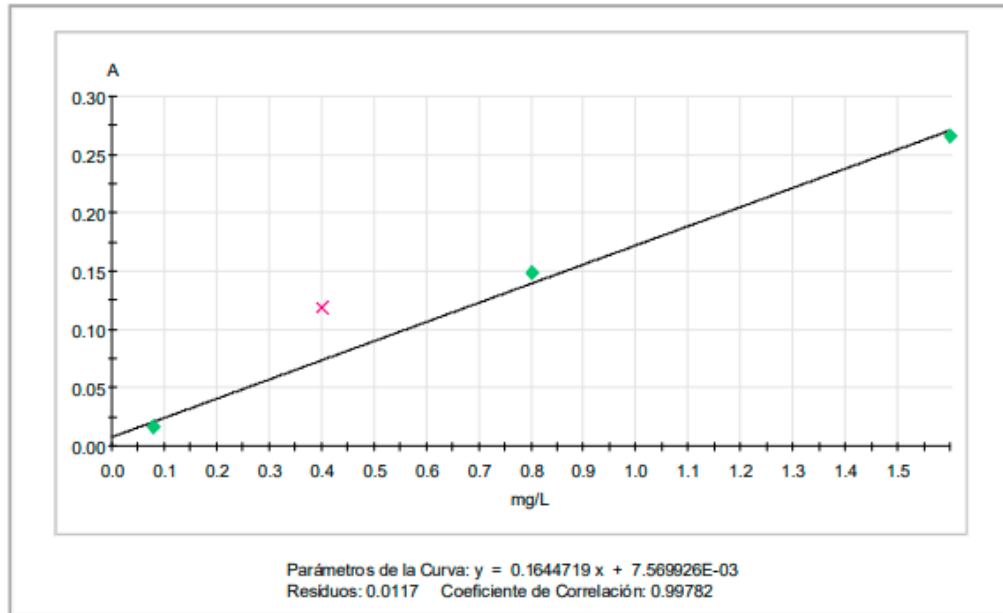


JOSE LUIS  
HERRERA  
ROBALINO

Ing. José Luis Herrera R. MSc.  
Técnico de Investigación Ocasional I

## ANEXO B: RESULTADOS DE NITRÓGENO AMONICAL

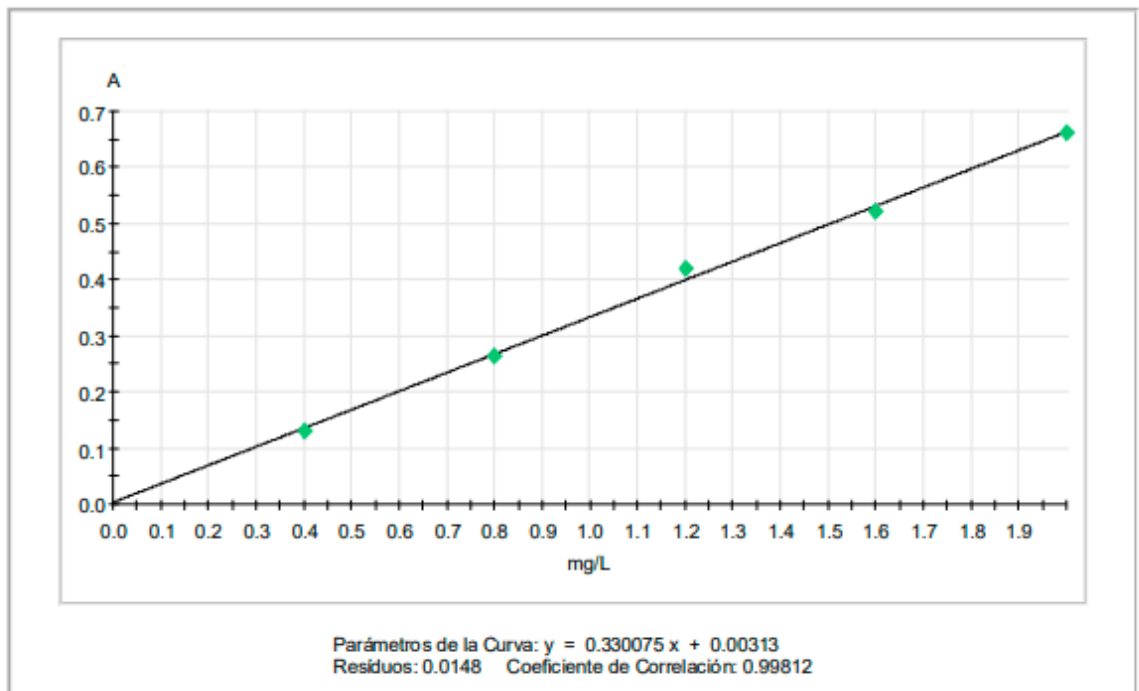
Método: N-AMONICAL.mqa (425 nm)  
Última modific.: 28/nov/2022 03:15:22 p. m. por Lab.  
Instrumental/DESKTOP-6TGH6DT  
Espectrofotómetro: BETA  
Número de serie: 140113  
Firmware: v4.60 v4.80  
Medida: 28/nov/2022 03:45:07 p. m. por Lab.  
Instrumental/DESKTOP-6TGH6DT  
Archivo resultado: JOSE AGUILAR N-AMONICAL.rqa



Muestra	Dilución Factor	Ordenadas [A]	Concentración [mg/L]
COMPOST	10	0.100	5.644
POLINAZA	10	0.136	7.827
CENIZA	50	0.142	2.827
HUESO	10	0.070	3.814

## ANEXO C: RESULTADOS DEL FOSFORO DISPONIBLE

Método: FOSFORO DISPONIBLE ZAMBRANO-6N.mqa (882 nm)  
 Última modific.: 22/nov/2022 04:23:12 p. m. por Lab.  
 Instrumental/DESKTOP-6TGH6DT  
 Espectrofotómetro: BETA  
 Número de serie: 140113  
 Firmware: v4.60 v4.80  
 Medida: 09/dic/2022 12:00:37 p. m. por Lab.  
 Instrumental/DESKTOP-6TGH6DT  
 Archivo resultado: fosforo disponible.rqa



Muestra	Dilución Factor	Ordenadas [A]	Concentración [mg/L]
pollinaza	50	0.342	51.272
compost	25	0.252	1.329
guineo	25	0.222	16.592
hueso	5	0.338	24.776
ceniza	5	0.446	3.65

**ANEXO D: CONTROL DE PARÁMETROS EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE**

a)



b)



c)



d)



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	<p style="text-align: center;"><b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b>  <b>FACULTAD DE CIENCIAS</b>  <b>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b></p> <p style="text-align: center;"><b>REALIZADO POR:</b>                      José Edulfo Aguilar Ajila</p>	TEMA					
<p>a. Tratamientos realizados.</p> <p>b. Toma de temperatura.</p> <p>c. Aeración y humectación.</p> <p>d. Producto final.</p>	<p><input type="checkbox"/> Por aprobar</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Por calificar</p> <p><input type="checkbox"/> Por verificar</p> <p><input type="checkbox"/> Aprobado</p> <p><input type="checkbox"/> Certificado</p>		<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th data-bbox="1552 1337 1787 1374">LÁMINA</th> <th data-bbox="1787 1337 1995 1374">ESCALA</th> <th data-bbox="1995 1337 2145 1374">FECHA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="1552 1374 1787 1410">1</td> <td data-bbox="1787 1374 1995 1410">1:1</td> <td data-bbox="1995 1374 2145 1410">2023/06/023</td> </tr> </tbody> </table>	LÁMINA	ESCALA	FECHA	1	1:1
LÁMINA	ESCALA	FECHA						
1	1:1	2023/06/023						

**ANEXO E: FASES EN LA PRODUCCIÓN DE CENIZA DE HUESO**

a)



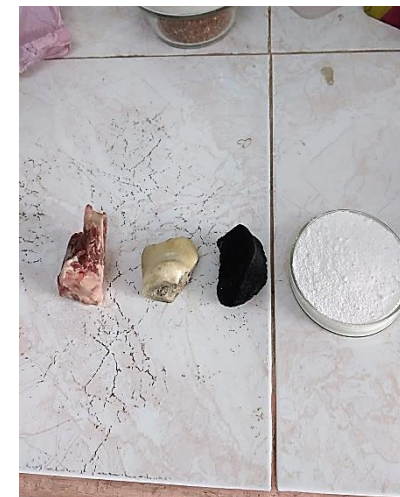
b)



c)



d)



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	<p align="center"> <b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b>  <b>FACULTAD DE CIENCIAS</b>  <b>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b>   <b>REALIZADO POR:</b>                      José Eulfo Aguilar Ajila                 </p>	TEMA		
<p>a. Cortado de huesos.</p> <p>b. Acción del H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en el tratamiento.</p> <p>c. Liberación de vapores en la calcinación.</p> <p>d. Etapas de producción de ceniza de hueso.</p>	<p><input type="checkbox"/> Por aprobar</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Por calificar</p> <p><input type="checkbox"/> Por verificar</p> <p><input type="checkbox"/> Aprobado</p> <p><input type="checkbox"/> Certificado</p>		<p align="center"><b>LÁMINA</b></p> <p align="center">2</p>	<p align="center"><b>ESCALA</b></p> <p align="center">1:1</p>	<p align="center"><b>FECHA</b></p> <p align="center">2023/06/23</p>

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**REALIZADO POR:**  
 José Eulfo Aguilar Ajila

**“DISEÑO DEL PROCESO INDUSTRIAL PARA LA ELABORACIÓN DE UN FERTILIZANTE SÓLIDO A BASE DE POLLINAZA PARA CULTIVOS AGRÍCOLAS”**

**LÁMINA**

2

**ESCALA**

1:1

**FECHA**

2023/06/23

**ANEXO F: PROCESOS DESARROLLADOS PARA LA DIGESTIÓN DE LAS MUESTRAS EN LA CARACTERIZACIÓN DEL ABONO ORGÁNICO**

a)



b)



c)



d)



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	<p style="text-align: center;"><b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b>  <b>FACULTAD DE CIENCIAS</b>  <b>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b></p> <p style="text-align: center;"><b>REALIZADO POR:</b>                      José Eulfo Aguilar Ajila</p>	TEMA		
<p>a. Adición del <math>H_2SO_4</math> a las muestras.</p> <p>b. Digestión de las muestras en reverberos.</p> <p>c. Destrucción de la materia orgánica por acción del <math>H_2SO_4</math> y <math>H_2O_2</math> al 50%.</p> <p>d. filtración al vacío de la muestra.</p>	<p><input type="checkbox"/> Por aprobar</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Por calificar</p> <p><input type="checkbox"/> Por verificar</p> <p><input type="checkbox"/> Aprobado</p> <p><input type="checkbox"/> Certificado</p>		LÁMINA	ESCALA	FECHA
			3	1:1	2023/06/23

**“DISEÑO DEL PROCESO INDUSTRIAL PARA LA ELABORACIÓN DE UN FERTILIZANTE SÓLIDO A BASE DE POLLINAZA PARA CULTIVOS AGRÍCOLAS”**

**ANEXO G: CARACTERIZACIÓN DE LAS MUESTRAS EN EL ESPECTROFOTÓMETRO Y FOTÓMETRO DE LLAMA.**

a)



b)



c)



d)



**NOTAS**

- a. Regulación del pH con NaOH.
- b. Análisis en el fotómetro de llama.
- c. Presencia de N en las muestras.
- d. Presencia de P en las muestras.

**CATEGORÍA DEL DIAGRAMA**

- Por aprobar
- Por calificar
- Por verificar
- Aprobado
- Certificado

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE  
CHIMBORAZO  
FACULTAD DE CIENCIAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**REALIZADO POR:**  
José Edulfo Aguilar Ajila

**TEMA**

**“DISEÑO DEL PROCESO INDUSTRIAL PARA  
LA ELABORACIÓN DE UN FERTILIZANTE  
SÓLIDO A BASE DE POLLINAZA PARA  
CULTIVOS AGRÍCOLAS”**

**LÁMINA**

4

**ESCALA**

1:1

**FECHA**

2023/06/23



epoch

Dirección de Bibliotecas y  
Recursos del Aprendizaje

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y  
DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 20 / 07 / 2023

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR:</b>
<b>Nombres – Apellidos:</b> José Edulfo Aguilar Ajila
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>Facultad:</b> Ciencias
<b>Carrera:</b> Ingeniería Química
<b>Título a optar:</b> Ingeniero Químico
<b>f. Analista de Biblioteca responsable:</b> Ing. Rafael Inty Salto Hidalgo

1371-DBRA-UPT-2023