



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

**DISEÑO DEL PROCESO INDUSTRIAL PARA LA OBTENCIÓN
DE UN FERTILIZANTE LÍQUIDO ORGÁNICO**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA QUÍMICA

AUTORA:

CARLA STEFANY MATA NAVARRETE

Riobamba – Ecuador

2023



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

**DISEÑO DEL PROCESO INDUSTRIAL PARA LA OBTENCIÓN
DE UN FERTILIZANTE LÍQUIDO ORGÁNICO**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA QUÍMICA

AUTORA: CARLA STEFANY MATA NAVARRETE

DIRECTOR: Dr. EDMUNDO RODRIGO CALUÑA SÁNCHEZ, PhD.

Riobamba – Ecuador

2023

© 2023, **Carla Stefany Mata Navarrete**

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, Carla Stefany Mata Navarrete, 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 autora 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, 24 de mayo de 2023






Carla Stefany Mata Navarrete

C.I. 060431285-0

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 OBTENCIÓN DE UN FERTILIZANTE LÍQUIDO ORGÁNICO**, realizado por la señorita: **CARLA STEFANY MATA NAVARRETE**, 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.

	FIRMA	FECHA
Ing. Marlene Jaqueline García Veloz, MSc. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2023-05-24
Dr. Edmundo Rodrigo Caluña Sánchez, PhD. DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-05-24
Ing. Mayra Paola Zambrano Vinueza, MSc. ASESORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-05-24

DEDICATORIA

A Dios que sin él no hubiera podido alcanzar este logro, uno de tantos por alcanzar en mi camino; a Teresa y Marlene que han sido un pilar fundamental en mi vida y a José por siempre estar a mi lado sosteniendo mi mano como mi ayuda idónea.

Stefany

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a Dios que ha guiado mis pasos y me ha dado la fortaleza para salir adelante, a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por impartirme y dotarme de enseñanza, al Dr. Edmundo Caluña y la Ing. Mayra Zambrano por su ayuda y acompañamiento en todo este proceso de titulación, a todas las personas que de alguna u otra manera han contribuido en la realización de este trabajo, mi corazón queda eternamente agradecido y por último un agradecimiento especial a la carrera de Agronomía que junto a nuestra amada carrera de Ingeniería Química se ha podido intercambiar conocimientos dando lugar al enriquecimiento de la Ciencia.

Stefany

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xv
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xvi
RESUMEN.....	xvii
SUMMARY.....	xviii
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	2
1.1. Planteamiento del problema.....	2
1.2. Justificación.....	2
1.3. Localización del proyecto.....	3
1.4. Objetivos.....	4
1.4.1. <i>Objetivo general</i>.....	4
1.4.2. <i>Objetivos específicos</i>.....	4

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.....	6
2.1. Antecedentes de investigación.....	6
2.2. Referencias teóricas.....	7
2.2.1. <i>Abonos orgánicos</i>.....	7
2.2.2. <i>Fertilizante</i>.....	8
2.2.3. <i>Biofertilizante</i>.....	9
2.2.4. <i>Biol</i>.....	9
2.2.4.1. <i>Excremento animal (pollinaza)</i>.....	10
2.2.4.2. <i>Melaza</i>.....	12
2.2.4.3. <i>Suero de leche</i>.....	12
2.2.4.4. <i>Residuos orgánicos</i>.....	13
2.2.4.5. <i>Levadura</i>.....	13
2.2.4.6. <i>Agua</i>.....	13
2.2.4.7. <i>Cenizas de hueso de res</i>.....	13

2.2.5.	<i>Fermentación</i>	17
2.2.6.	<i>Biomasa</i>	17
2.2.6.1.	<i>Tipos de biomasa</i>	18
2.2.6.2.	<i>Fuentes de aprovechamiento para biomasa</i>	18
2.2.6.3.	<i>Parámetros y condiciones para caracterizar la biomasa</i>	19
2.2.6.4.	<i>Aplicación energética de la biomasa</i>	20
2.2.7.	<i>Biogás</i>	21
2.2.8.	<i>Digestión anaeróbica</i>	21
2.2.9.	<i>Fases de la digestión anaerobia</i>	22
2.2.10.	<i>Condiciones del proceso anaeróbico</i>	25
2.2.10.1.	<i>Alcalinidad y pH</i>	25
2.2.10.2.	<i>Temperatura</i>	25
2.2.10.3.	<i>Tiempo de retención</i>	26
2.2.10.4.	<i>Relación C/N</i>	27
2.2.10.5.	<i>Amoniaco</i>	27
2.2.11.	<i>Biodigestor</i>	28
2.2.11.1.	<i>Tipos de biodigestores</i>	28

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	30
3.1.	Ingeniería del proyecto	30
3.1.1.	<i>Tipo de estudio</i>	30
3.1.2.	<i>Nivel de investigación</i>	30
3.2.	Métodos y técnicas	30
3.2.1.	<i>Métodos</i>	30
3.2.1.1.	<i>Metodología experimental</i>	31
3.2.2.	<i>Técnicas</i>	31
3.2.2.1.	<i>Técnica para la caracterización de la pollinaza</i>	31
3.2.2.2.	<i>Técnica para la caracterización de los huesos de animales</i>	34
3.2.2.3.	<i>Técnica para la caracterización del suero de leche</i>	36
3.2.2.4.	<i>Técnica para la caracterización de la melaza</i>	36
3.2.3.	<i>Requisitos de análisis fisicoquímicos y microbiológicos</i>	37
3.2.3.1.	<i>Requisitos mínimos para abonos orgánicos</i>	37
3.2.3.2.	<i>Requisitos mínimos para la harina de hueso calcinado</i>	38
3.2.3.3.	<i>Requisitos mínimos para el suero de leche</i>	38

3.2.3.4.	<i>Requisitos mínimos para la melaza</i>	39
3.2.3.5.	<i>Requisitos máximos y mínimos para el biol final según la NTE INEN 211:98</i>	39
3.2.3.6.	<i>Requisitos máximos y mínimos de los macronutrientes secundarios y micronutrientes para el biol final según la NTE INEN 211:98.</i>	40
3.3.	Procedimiento a nivel de laboratorio	40
3.3.1.	Descripción del procedimiento	40
3.3.1.1.	<i>Elaboración de la ceniza o harina de hueso de res</i>	40
3.3.1.2.	<i>Preparación del fertilizante líquido orgánico (Biol)</i>	47
3.3.2.	Caracterización de la pollinaza (NP)	51
3.3.2.1.	<i>Digestión de las muestras con H₂SO₄</i>	52
3.3.2.2.	<i>Determinación de Nitrógeno (N) total</i>	53
3.3.2.3.	<i>Determinar de Fósforo (P) total</i>	53
3.4.	Procedimiento a nivel industrial	54
3.4.1.	Variables del proceso	54
3.4.2.	Operaciones y procesos unitarios que intervienen en el proceso	55
3.4.2.1.	<i>Operaciones unitarias</i>	55
3.4.2.2.	<i>Procesos unitarios</i>	55
3.4.3.	Cantidades a nivel industrial	55
3.4.4.	Balance de masa y de energía	58
3.4.4.1.	<i>Balance de masa</i>	58
3.4.4.2.	<i>Balance de masa general del proceso</i>	68
3.4.4.3.	<i>Balance de energía</i>	68
3.5.	Dimensionamiento de los equipos	78
3.5.1.	Diseño de una mesa de limpieza y lavado para recepción de materia prima	78
3.5.1.1.	<i>Cálculo del volumen de la mesa</i>	78
3.5.1.2.	<i>Cálculo de la capacidad aproximada de la mesa</i>	79
3.5.2.	Diseño de un molino de martillos	79
3.5.2.1.	<i>Cálculo de la molturabilidad</i>	79
3.5.2.2.	<i>Cálculo de las dimensiones de los martillos</i>	80
3.5.2.3.	<i>Cálculo de la energía requerida por el molino</i>	82
3.5.2.4.	<i>Cálculo de la velocidad del motor</i>	82
3.5.2.5.	<i>Cálculo de la potencia requerida para la molienda</i>	83
3.5.2.6.	<i>Cálculo de la potencia del motor</i>	84
3.5.2.7.	<i>Cálculo del volumen de la tolva de alimentación</i>	85
3.5.2.8.	<i>Cálculo del volumen de armazón del equipo</i>	86
3.5.3.	Diseño de un tamizador industrial	86

3.5.3.1.	<i>Cálculo de la capacidad del equipo tamizador</i>	86
3.5.3.2.	<i>Cálculo del volumen de carga del equipo tamizador</i>	87
3.5.3.3.	<i>Cálculo del tamiz y bandeja</i>	87
3.5.2.4.	<i>Cálculo de la carga existente en la bandeja</i>	88
3.5.3.5.	<i>Cálculo de la elasticidad de los resortes</i>	89
3.5.3.6.	<i>Cálculo de la frecuencia propia</i>	89
3.5.3.7.	<i>Cálculo de la fuerza de vibración en el motovibrador</i>	90
3.5.3.8.	<i>Selección del motorreductor</i>	90
3.5.3.9.	<i>Cálculo de la eficiencia del motorreductor</i>	91
3.5.4.	<i>Diseño de un mezclador</i>	91
3.5.4.1.	<i>Cálculo del volumen que ocupa el producto</i>	91
3.5.4.2.	<i>Cálculo de la potencia del motorreductor</i>	92
3.5.4.3.	<i>Cálculo de la distribución del producto en el recipiente</i>	92
3.5.4.4.	<i>Cálculo del volumen sometido a la mezcla por las paletas</i>	93
3.5.4.5.	<i>Cálculo del peso de la paleta para remover la mezcla</i>	94
3.5.4.6.	<i>Cálculo de la potencia del motor para realizar la mezcla</i>	94
3.5.4.7.	<i>Diseño de las paletas</i>	95
3.5.4.8.	<i>Cálculo del diámetro del tanque</i>	96
3.5.5.	<i>Biodigestor</i>	97
3.5.5.1.	<i>Estimación de la carga orgánica o biomasa</i>	97
3.5.5.2.	<i>Estimación de la cantidad de mezcla de agua (Ma)</i>	98
3.5.5.3.	<i>Biomasa final</i>	98
3.5.5.4.	<i>Tiempo de retención</i>	98
3.5.5.5.	<i>Volumen del diseño</i>	100
3.5.6.	<i>Dimensionamiento del biodigestor</i>	100
3.6.	<i>Análisis técnico económico del diseño de proceso</i>	104
3.6.1.	<i>Inversión fija</i>	104
3.6.2.	<i>Proyección de gastos de producción</i>	105
3.6.3.	<i>Capital de operaciones</i>	106
3.6.4.	<i>Inversión total</i>	106
3.6.4.1.	<i>Costo de producción anual</i>	106
3.6.4.2.	<i>Cálculo del precio de venta al público</i>	106
3.6.5.	<i>Puesta en marcha del proyecto</i>	107
3.6.6.	<i>Punto de equilibrio</i>	107
3.6.7.	<i>Utilidad neta</i>	108
3.6.8.	<i>Valor Actual Neto (VAN)</i>	109

3.6.9.	<i>Taza Interna de Retorno (TIR)</i>	110
3.6.9.1.	<i>Cálculo del TIR</i>	110
3.6.9.2.	<i>Comprobación del TIR</i>	111
3.6.10.	<i>Periodo de recuperación</i>	111
3.6.11.	<i>Beneficio/costo del proyecto</i>	112

CAPÍTULO IV

4.	MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	113
4.1.	Análisis de los materiales de partida	113
4.1.1.	<i>Caracterización de la ceniza de hueso</i>	113
4.1.2.	<i>Caracterización de la pollinaza</i>	113
4.1.3.	<i>Caracterización de la melaza</i>	115
4.1.4.	<i>Caracterización del suero de leche</i>	116
4.1.5.	<i>De la levadura de pan</i>	117
4.2.	Validación del producto obtenido de acuerdo con la norma NTC 5167	118
4.3.	Procedimiento industrial y de laboratorio	119
4.3.1.	<i>Bases de cálculo para el proceso industrial</i>	119
4.3.2.	<i>Rendimiento de los procesos industriales y balance de energía</i>	120
4.3.3.	<i>Resultados del diseño del proceso para la elaboración del fertilizante orgánico</i> ...	121
4.4.	Análisis de la viabilidad técnica y económica del proyecto	122
4.5.	Análisis y discusión de resultados	123

CONCLUSIONES	125
---------------------------	-----

RECOMENDACIONES	127
------------------------------	-----

GLOSARIO

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Datos Geográficos de la “ESPOCH”	4
Tabla 2-1:	Propiedades del abono orgánico	8
Tabla 2-2:	Dosificación de Biol	9
Tabla 2-3:	Análisis elemental de los residuos avícolas	10
Tabla 2-4:	Caracterización química de los residuos avícolas	11
Tabla 2-5:	Contenido de microorganismos en la gallinaza (fresca)	11
Tabla 2-6:	Análisis Microbiológico de la pollinaza (fresca y seca)	11
Tabla 2-7:	Tipos de suero de leche líquidos	13
Tabla 2-8:	Técnicas para obtención de harina o ceniza de hueso	14
Tabla 2-9:	Composiciones aproximadas de los 3 métodos para la harina de hueso	14
Tabla 2-10:	Tipos de biomasa	18
Tabla 2-11:	Característica física de distintas fuentes de biomasa	18
Tabla 2-12:	Parámetros para la elección del proceso más adecuado	19
Tabla 2-13:	Aplicación de la biomasa	20
Tabla 2-14:	Composición del biogás	21
Tabla 2-15:	Fases de la digestión anaeróbica	22
Tabla 2-16:	Rangos de temperatura por tipo de ambiente	25
Tabla 2-17:	Tiempo de retención	26
Tabla 2-18:	Tipos de biodigestores	29
Tabla 3-1:	Métodos a seguir para el proyecto tipo técnico	31
Tabla 3-2:	Determinación de pH	31
Tabla 3-3:	Determinación de humedad	32
Tabla 3-4:	Determinación de la densidad	32
Tabla 3-5:	Determinación de cenizas por el método de pérdida por volatilización	33
Tabla 3-6:	Determinación de capacidad de retención de agua	33
Tabla 3-7:	Determinación de la densidad	34
Tabla 3-8:	Determinación de humedad	34
Tabla 3-9:	Determinación de grasas totales	35
Tabla 3-10:	Determinación de pH	36
Tabla 3-11:	Grados Brix	36
Tabla 3-12:	Determinación de pH	37
Tabla 3-13:	Requisitos mínimos de acuerdo a la norma técnica colombiana NTC 5167	37

Tabla 3-14:	Requisitos mínimos según la norma técnica colombiana NTC 657 Alimento para animales. Harina de hueso	38
Tabla 3-15:	Requisitos mínimos según la NTE INEN 2594:2011	38
Tabla 3-16:	Requisitos mínimos según la NTE INEN 1701	39
Tabla 3-17:	Tolerancia. Garantía mínima y máxima.....	39
Tabla 3-18:	Tolerancia de los macronutrientes secundarios y micronutrientes. Fertilizantes líquidos.....	40
Tabla 3-19:	Pesos obtenidos en el proceso.....	45
Tabla 3-20:	Cantidad de materia prima en laboratorio.....	56
Tabla 3-21:	Cantidad de materia prima para el Biol	58
Tabla 3-22:	Carga de la biomasa	97
Tabla 3-23:	Presupuesto de la inversión fija del proyecto.....	104
Tabla 3-24:	Costos de materia prima e insumos.....	105
Tabla 3-25:	Costos de mano de obra	105
Tabla 3-26:	Costos de servicios básicos.....	105
Tabla 3-27:	Capital de operaciones en la elaboración biofertilizante.....	106
Tabla 3-28:	Inversión total del proyecto	106
Tabla 3-29:	Costo de producción del biol anual.....	106
Tabla 3-30:	Costos totales de la puesta en marcha del proyecto	107
Tabla 3-31:	Utilidad neta en proyección de cinco años.....	109
Tabla 3-32:	Utilidad neta en proyección de cinco años.....	110
Tabla 3-33:	Cálculo del TIR.....	111
Tabla 3-34:	Utilidad neta en proyección de cinco años.....	111
Tabla 3-35:	Flujo acumulado del TIR	111
Tabla 4-1:	Resultados de la caracterización de la ceniza de hueso calcinado	113
Tabla 4-2:	Análisis elemental de los residuos avícolas	114
Tabla 4-3:	Resultado del análisis elemental de la pollinaza.....	114
Tabla 4-4:	Caracterización química (pollinaza)	114
Tabla 4-5:	Resultados de la caracterización	115
Tabla 4-6:	Requisitos físicos y químicos de la melaza.....	115
Tabla 4-7:	Resultados de los análisis físicos y químicos de la melaza.....	116
Tabla 4-8:	Requisitos fisicoquímicos del suero de leche líquido	116
Tabla 4-9:	Requisitos microbiológicos para el suero de leche líquido.....	116
Tabla 4-10:	Resultados fisicoquímicos del suero	117
Tabla 4-11:	Resultados microbiológicos para el suero.....	117
Tabla 4-12:	Norma NTC 5167 para productos orgánicos usados como fertilizantes.....	118

Tabla 4-13:	Validación del fertilizante orgánico.....	119
Tabla 4-14:	Cantidad de materia prima para elaborar el Biol	119
Tabla 4-15:	Rendimientos de los procesos industriales.....	120
Tabla 4-16:	Valores obtenidos en el balance de energía del proceso	120
Tabla 4-17:	Resultados del dimensionamiento de los equipos.....	121
Tabla 4-18:	Cantidad de producción	122
Tabla 4-19:	Beneficio /costo del proyecto.....	122
Tabla 4-20:	Parámetros financieros de la factibilidad del proyecto	123
Tabla 4-21:	Resumen de los gastos mensuales y beneficios del proyecto	123

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-1:	Ubicación geográfica de la ESPOCH.....	4
Ilustración 2-1:	Diagrama de flujo del pretratamiento de huesos de res con H ₂ O ₂	16
Ilustración 2-2:	Proceso fermentativo del Biol	23
Ilustración 2-3:	Influencia de la temperatura sobre el tiempo de retención.....	27
Ilustración 2-4:	Reciclaje de desechos degradables y usos del biogás y bioabono.....	28
Ilustración 3-1:	Disminución de tamaño de los huesos	41
Ilustración 3-2:	Acción del H ₂ O ₂ en las muestras de hueso.....	42
Ilustración 3-3:	Cocción de los huesos	42
Ilustración 3-4:	Lijado de los huesos	43
Ilustración 3-5:	Secado de los huesos	43
Ilustración 3-6:	Calcinación en mufla.....	44
Ilustración 3-7:	Trituración en mortero	44
Ilustración 3-8:	Tamizado de la muestra.....	45
Ilustración 3-9:	Diagrama de flujo para la obtención de harina de hueso.....	46
Ilustración 3-10:	Elaboración del biodigestor.....	48
Ilustración 3-11:	Mezclado de la materia prima seca	48
Ilustración 3-12:	Mezcla de la materia prima líquida y levadura	49
Ilustración 3-13:	Sellado Hermético	49
Ilustración 3-14:	Aislamiento de temperatura	50
Ilustración 3-15:	Embotellado	50
Ilustración 3-16:	Diagrama de flujo para la obtención de harina de hueso.....	51
Ilustración 3-17:	Diagrama de flujo para la caracterización de abonos orgánico	52
Ilustración 3-18:	Diagrama de flujo para la determinación de N total.....	53
Ilustración 3-19:	Diagrama de flujo para la determinación de P total	53
Ilustración 3-20:	Balance de masa del proceso para elaborar el Biol	68
Ilustración 3-21:	Resultados de Fc.....	80
Ilustración 3-22:	Lectura del factor de corrección para el tiempo de retención	99
Ilustración 3-23:	Lectura del factor de corrección para el tiempo de retención	100
Ilustración 3-24:	Lectura del factor de corrección para el tiempo de retención	103
Ilustración 3-25:	Diseño final del biodigestor	104
Ilustración 4-1:	Información nutricional de levadura	118

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: CARACTERIZACIÓN POR MEDIO DEL EQUIPO DUMAS, LA POLLINAZA Y DOS TRATAMIENTOS A INTERÉS PARA EL ESTUDIO

ANEXO B: RESULTADOS DEL NITRÓGENO AMONIAICAL ANALIZADO EN EL ESPECTROFOTÓMETRO O UV-VISIBLE

ANEXO C: PROCESO DE PRODUCCIÓN DE LA CENIZA DE HUESO

RESUMEN

A la agricultura se la considera el sector económico más importante en el Ecuador por ende el uso de fertilizantes es indispensable debido a la escasez de nutrientes de algunos suelos teniendo en cuenta que en el mercado la gran mayoría son químicos que desgastan el suelo de manera progresiva, perjudicando tanto al medio ambiente como la salud de que lo consume, teniendo así como objetivo el “Diseñar un proceso industrial para la obtención de un fertilizante líquido orgánico”, insertando en el mercado un producto amigable con el medio ambiente, de bajo costo y que brinda los mismos nutrientes a la planta. Se lo realizó por medio de la fermentación de seis materias primas: melaza, suero de leche, levadura, pollinaza, hojarasca y ceniza de hueso de res, mezcladas con agua. Para obtener la ceniza de hueso se realizó un pretratamiento con peróxido y ácido acético, fueron calcinados a una temperatura que oscilaba entre los 650°C y 800°C por 4 horas, la ceniza fue añadida en la formulación del biol para aportar calcio y fósforo. Como resultados obtenidos para el Biol observamos los valores de N 14,54 g/l, P 17,18 g/l, K 8,29 g/l, Ca 13,64g/l, Mg 3,41 g/l. A nivel industrial se dimensionó los equipos necesarios para producir por lote 1000 litros de biol, identificando las variables, operaciones y procesos unitarios. Finalmente, con la parte financiera se analizan parámetros importantes como el TIR y el VAN, dándonos como resultado que la planta es viable y recuperable su inversión en un periodo de 3 año, con un PVP al público de 3,25 por litro. Concluyendo que se validó el fertilizante de acuerdo con la norma Colombiana NTC INCOTEC 5167 y que gracias a las materias primas utilizadas podemos contribuir a la economía circular, generando un bien económico y un cuidado ambiental.

Palabras clave: <MEDIO AMBIENTE>, <FERTILIZANTE LÍQUIDO>, <BIODIGESTOR>, <FERMENTACIÓN>, <MATERIA PRIMA>, <BIOL>.

1064-DBRA-UPT-2023

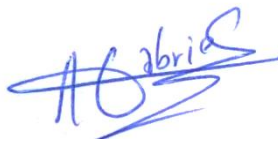


SUMMARY

Agriculture is considered the most important economic sector in Ecuador, therefore the use of fertilizers is indispensable due to the scarcity of nutrients in some soils, taking into account that in the market the vast majority are chemicals that wear the soil progressively, damaging both the environment and the health of those who consume it, thus having as an objective to "Design an industrial process for obtaining an organic liquid fertilizer", inserting in the market an environmentally friendly product, at low cost and that provides the same nutrients to the plant. This was done by fermenting six raw materials: molasses, whey, yeast, poultry manure, leaf litter and beef bone ash, mixed with water. To obtain the bone ash, a pretreatment with peroxide and acetic acid was carried out, and the ash was calcined at a temperature ranging from 650°C to 800°C for 4 hours, the ash was added to the biol formulation to provide calcium and phosphorus. As results obtained for the Biol, we observed values of N 14.54 g/l, P 17.18 g/l, K 8.29 g/l, Ca 13.64 g/l, Mg 3.41 g/l. At the industrial level, the equipment necessary to produce 1000 liters of biol per batch was dimensioned, identifying the variables, operations and unitary processes. Finally, with the financial part, important parameters such as the IRR and NPV were analyzed, giving us as a result that the plant is viable and its investment is recoverable in a period of 3 years, with a retail price of 3.25 per liter. It is concluded that the fertilizer was validated according to the Colombian standard NTC INCOTEC 5167 and that thanks to the raw materials used we can contribute to the circular economy, generating an economic good and environmental care.

Key words: <ENVIRONMENT>, <LIQUID FERTILIZER>, <BIODIGESTOR>, <FERMENTATION>, <RAW MATERIA>, <BIOL>.

1064-DBRA-UPT-2023



Abg. Ana Gabriela Reinoso. Mgs.

Ced: 110369613

INTRODUCCIÓN

La agricultura convencional juega un papel importante en satisfacer las demandas alimentarias de un ser humano en crecimiento poblacional, que también ha llevado a un aumento en dependencia de fertilizantes químicos y pesticidas. Los fertilizantes químicos son manipulados industrialmente ya que son sustancias compuestas por cantidades específicas de nitrógeno, fósforo y potasio, y su explotación causa contaminación del aire y del agua subterránea por eutrofización de masas de agua.

A este respecto, este trabajo centra una alternativa viable canalizada más hacia la producción de un biofertilizante 'rico en nutrientes' dando como resultado alimentos de alta calidad, con un comportamiento sostenible para garantizar tanto la bioseguridad del suelo como del producto y finalmente del consumidor. Teniendo en cuenta que el biofertilizante juega un papel crucial en el aumento de la productividad del cultivo ya que mejoran el estado de salud del suelo y el costo es menor que otros fertilizantes (relativamente más eficaz que los fertilizantes químicos) y tiene un efecto significativo en la productividad del grano, mejoran la textura del suelo y no permiten que microorganismos desfavorables florezca. Los biofertilizantes son productivos en condiciones áridas y semiáridas. En pocas palabras los biofertilizantes generan minerales, nutrientes, suplementos y otros bioquímicos promotores del crecimiento, por lo tanto, los biofertilizantes no son contaminantes y proporcionan sostenibilidad al suelo. La formulación del fertilizante orgánico estará caracterizada bajo la Norma Colombiana NTC ICONTEC 5167 para su posterior elaboración industrial y utilización.

Al ser un trabajo técnico se observan también los cálculos de ingeniería de las operaciones para la obtención del fertilizante líquido orgánico y el análisis técnico económico del diseño del proceso que se encuentran repartidos en los cuatro capítulos de este trabajo, teniendo en cuenta que el Capítulo I presenta el diagnóstico del problema que nos muestra los antecedentes de la investigación, su justificación y se detallan los objetivos, en el Capítulo II se expone el marco teórico que en base a bibliografía se refuerzan los temas conceptuales del trabajo. El Capítulo III es el marco metodológico que describe las técnicas, variables y parámetros de las operaciones para la obtención del fertilizante líquido orgánico y los cálculos de ingeniería para el diseño de los equipos a utilizar y como último Capítulo tenemos el IV que presenta el análisis e interpretación de resultados tanto de la caracterización de la materia prima como del producto final y para concluir se analizan las conclusiones y recomendaciones englobadas de todo este trabajo técnico.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del problema

El Ecuador cultiva una gran diversidad de productos por lo que la agricultura juega un rol importante para su desarrollo aportando al PIB nacional el 9,63% es decir \$9.626.014 miles de dólares, por lo que se le considera el cuarto sector económico más importante para el Ecuador. Podemos decir que las más vulnerables son las comunidades que se encuentran alrededor de las ciudades donde la agricultura es la principal fuente de ingreso para las familias, por tal motivo el uso de fertilizantes se ha vuelto indispensable debido a la escasez de nutrientes de algunos suelos, para los altos rendimientos y la buena calidad que se esperan en estas zonas.

En la actualidad varias de las contaminaciones derivan una parte de la agricultura, que ha ocasionado el deterioro del suelo por el uso y abuso de los agroquímicos (Saltos, 2021, p.1). De acuerdo al estudio de Mercadeo de abonos y plaguicidas, desarrollado por Pro-Export Colombia y el Banco Interamericano de Desarrollo con equipo consultor, en el Ecuador la producción nacional de fertilizantes equivale aproximadamente al 1,5% del mercado total de fertilizantes, el 98,5% restante se constituye a base de importaciones, según este análisis la producción nacional de fertilizantes se centra en las siguientes empresas: Insectacorp, Lysagrim, Agrobiociencia, Fertisa y Agripac (Pro-Ecuador, 2013, p.1), lo que hace notorio que en el Ecuador no hay producción propia de fertilizantes.

Ahora centrándonos en la materia prima que es la pollinaza (Beausang, McDonnell y Murphy 2020, p. 3) se tiene que si no se hace una buena gestión de estos residuos se produce la dispersión concentrada de desechos avícolas en la tierra que tiene el potencial de provocar la acumulación de nutrientes en los suelos, la eutrofización de las masas de agua, la contaminación del aire y la propagación de patógenos. Como resultado, se están buscando rutas alternativas para la eliminación de los desechos de aves de corral.

1.2. Justificación

Producto de las contaminaciones derivadas de la agricultura causantes del deterioro del suelo y contaminación del agua por el uso y abuso de los agroquímicos, es preciso concebir que en un futuro la humanidad se prevendrá en la necesidad de optar por una producción orgánica, ya que

son muchas de las repercusiones en la salud a causa del uso de sustancias de síntesis química, por lo cual es de suma importancia crear un sistema de producción orgánica para disminuir o eliminar el uso de los fertilizantes y plaguicidas sintéticos salvaguardando así el medio ambiente y la salud humana, ya que un cultivo bien nutrido es más resistente a cualquier plaga .

En el mercado de la zona se observan diversos tipos de fertilizantes y pesticidas los mismo que se han utilizado para incrementar el rendimiento de las cosechas y disminuir los daños producidos por los insectos y las enfermedades de los cultivos, pero éstos no abastecen o son muy costosos a la hora de requerirlos el agricultor, ya que no existe una producción propia en el Ecuador de fertilizantes y más si son orgánicos, por ende, están en auge en estos últimos tiempos. Convenientemente los fertilizantes químicos incrementan la producción de alimentos, pero los efectos negativos en el medio ambiente son indiscutibles.

Mediante este trabajo de investigación que consiste en la elaboración y diseño industrial para la producción de un fertilizantes líquido, se va a suplir las necesidades nutricionales de los cultivos, presentando una alternativa de fertilización sostenible que facilitará la logística de aplicación y eficiencia agronómica a bajo costo, garantizando la accesibilidad a todo tipo de agricultor, este biofertilizante que aporte con los mismos beneficios para el crecimiento y desarrollo de las plantas; con ello se contribuye a que el sector agrícola tenga alternativas viables y que aporten en la mejora de la productividad de los cultivos, además de darle una buena gestión a la pollinaza como materia prima mediante un biodigestor, que además de reducir olores, genera gas y biol que es el biofertilizante líquido optimo en Nitrógeno, Fósforo y potasio que son los macronutrientes importantes para el crecimiento de la planta. Ya que un fertilizante líquido es un producto que contiene, por los menos, un nutriente que la planta necesita para su ciclo de vida. La característica más importante de cualquier fertilizante liquido es que son absorbidos de inmediato por la planta ya que la mayoría de los nutrientes entran en forma pasiva a través del flujo del agua. De esta forma, el estudio, diseño, fabricación y aplicación de fertilizantes líquidos tiene, en la actualidad, un ámbito de aplicación general.

1.3. Localización del proyecto

Este proyecto tipo técnico se llevará a cabo en la “Escuela Superior Politécnica de Chimborazo” específicamente en los laboratorios de Biorremediación, Química Analítica, Mineralogía-Metalurgia, Instrumental y en el Centro de Acopio de la “Facultad de Ciencias”.

Tabla 1-1: Datos Geográficos de la “ESPOCH”

Provincia	Chimborazo
Cantón	Riobamba
Ciudad	Riobamba
Ubicación	Av. Panamericana Sur km 1½ vía a la costa
Coordenadas	78°40'20'
Altitud	2815 m.s.n.m

Fuente: Google Earth, 2023.

Realizado por: Mata, C., 2023.

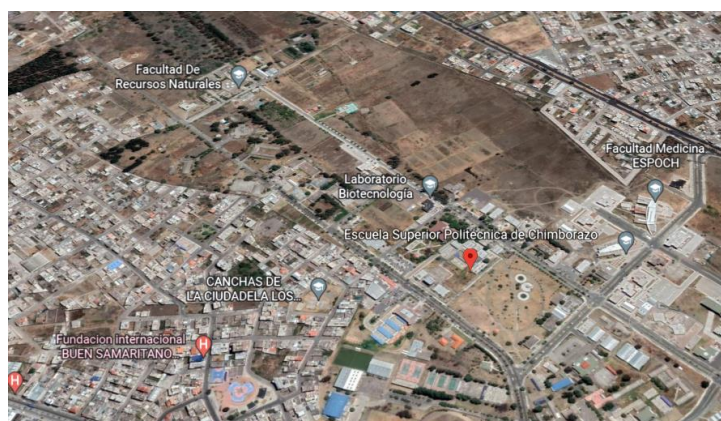


Ilustración 1-1: Ubicación geográfica de la ESPOCH

Fuente: (Google Earth, 2023).

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Diseñar un proceso industrial para la obtención de un fertilizante líquido orgánico.

1.4.2. Objetivos específicos

- Realizar la caracterización de la materia prima a utilizar, según las normas NTC 657 “Harina de huesos”, INEN 1701 “Alimentos zootécnicos. Melaza. Requisitos”, NTE INEN 2595:2011” Suero de leche líquido. Requisitos.”
- Identificar las variables, parámetros y las operaciones necesarias en el proceso de obtención del fertilizante líquido.
- Efectuar los cálculos de ingeniería de las operaciones para la obtención del fertilizante.

- Validar el proceso mediante una caracterización fisicoquímica de la formulación, según la Norma Colombiana NTC ICONTEC 5167 “Productos Orgánicos usados como Abonos o Fertilizantes”.
- Realizar un estudio técnico económico del diseño de proceso.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de investigación

En los últimos años, el abuso de fertilizantes químicos ha causado numerosos problemas ambientales, como la acidificación y compactación del suelo. Reemplazar los fertilizantes químicos con fertilizantes orgánicos puede aliviar estos problemas de manera efectiva.

Dando énfasis al biofertilizante líquido, éste se considera la mejor opción para los biofertilizantes tradicionales basados en el aporte que da a la agricultura moderna, dado que ayuda a un mayor rendimiento de los cultivos, mejora la salud del suelo y a la producción mundial sostenible de alimentos. El mayor desafío en el biofertilizante es la supervivencia de los organismos hasta el momento de llegar al campo. Estándares de calidad de los fertilizantes orgánicos nos muestran que son buenos y estables durante seis meses, pero en condiciones de almacenamiento seguras, estos podrían conservarse por más tiempo (Verma et al., 2018, p. 4).

Los biofertilizantes líquidos tienen la ventaja de ayudar a la fijación de nitrógeno en el suelo, en el estudio realizado por (Chop et al, 2010, p. 3) el biofertilizante líquido es la mejor forma de agricultura sostenible para la producción de cultivos ya que contiene no sólo los deseados microorganismos y sus nutrientes, sino también protectores celulares especiales o sustancias que fomentan la formación de esporas o quistes en reposo para una mayor vida útil, además de generar ganancias ya que los fertilizantes tienen una ventaja diferente en términos de ahorro de costos en comparación con los fertilizantes químicos y enfatizando en la vida útil, hizo en cuatro formulaciones de biofertilizantes líquidos pruebas de temperatura en su almacenamiento, donde los biofertilizantes líquidos se mantuvieron a bajas temperaturas (9 ± 2 °C) y temperatura ambiente (28 ± 2 °C) para el estudio de su vida útil. Dando como resultado que el biofertilizante líquido de caldo nutritivo mantenidos a bajas temperaturas mostraron tasas de supervivencia significativamente altas después del almacenamiento durante seis meses, a comparación con otras formulaciones y tratamientos.

Para (Lumbantoruan y Anggraini, 2021, p. 13) que estudió una formulación de biofertilizante en zonas secas, utilizó varias formulaciones de fertilizantes orgánicos líquidos para aumentar el crecimiento y la producción de maíz en condiciones de estrés por sequía en suelo de turba, esta investigación se realizó en el jardín experimental de Bina Insan Universidad Lubuk Linggau. El

diseño utilizado en este estudio fue completamente al azar, diseño de bloque con 2 factores de tratamiento, siendo el primero el cuidado de los microorganismos del biofertilizante y como segundo factor de tratamiento se tiene la intensidad de riego, dando como resultado positivo que las formulaciones de biofertilizantes H1 Y H3 pueden aumentar la resistencia de las plantas de maíz bajo estrés por sequía.

Se enfatiza que los biofertilizantes líquidos (Biol) mejora las propiedades fisicoquímicas del suelo y la comunidad microbiana, aparte de mejorar el metabolismo del suelo. Estos hallazgos mejoran nuestra comprensión de los efectos de diferentes métodos alternativos de fertilización orgánica y tienen un significado teórico importante para la promoción del uso de fertilizantes orgánicos en el futuro. Aunque el campo de biofertilizantes líquidos ha mejorado considerablemente desde las últimas 3-4 décadas, la industria de los biofertilizantes se ha enfrentado a algunas limitaciones técnicas, algunas personas que se han sumergido en el mundo de los fertilizantes necesitan fuertes actividades de investigación y desarrollo (Liu et al., 2021, p. 5).

En cuanto a los biodigestores que son equipos fundamentales para la elaboración de bioles, (Hernández-Sarabia et al., 2021, p. 8) nos muestra en su investigación que de este proceso obtenemos además de biol, gas metano CH₄ que por medio de otros procesos de purificación, pudo utilizarlo para la misma línea del proceso fermentativo del Biol, teniendo así resultado en las características fisicoquímicas de Biol 2 a 3% de nitrógeno, 1 a 2% de fósforo, potasio alrededor de 1 a 85% de materia orgánica con pH neutro y para la composición del biogás a partir de estiércol porcino y melaza se obtuvo en la concentración de 49,1% ± 4,6 vol. y 58,1 % ± 2,4 vol., y la concentración de anhídrido sulfuroso presentó un rango de valores entre 24 y 31 % vol., esto sugiere que hubo una falta de mantenimiento periódico para filtrar, así como una falta de implementación de nuevas tecnologías para eliminar el gas corrosivo y tóxico del biogás.

2.2. Referencias teóricas

2.2.1. Abonos orgánicos

Los abonos orgánicos se obtienen de la descomposición y mineralización de la materia orgánica (estiércol, desechos de cocina, hierbas incorporadas al suelo en su estado verde, etc.) utilizadas en los suelos agrícolas con la finalidad de activar y reproducir la actividad microbiana. Los suelos y fertilizantes son ricos en materia orgánica, energía y microorganismos, pero pobres en elementos inorgánicos. El uso de fertilizantes orgánicos para cultivos de todo tipo es cada vez más común en nuestro medio. Hay dos razones para esto: el fertilizante producido es de alta

calidad y más barato que los fertilizantes químicos disponibles en el mercado. Hay dos tipos de fertilizantes orgánicos: fertilizantes líquidos que se usan directamente y fertilizantes sólidos que se pueden disolver en agua, mezclar con el suelo o aplicar directamente (Byron, 2010, p. 10). Éstos actúan sobre tres propiedades:

Tabla 2-1: Propiedades del abono orgánico

PROPIEDADES FÍSICAS	PROPIEDADES QUÍMICAS	PROPIEDADES BIOLÓGICAS
<ul style="list-style-type: none"> -Debido a su color oscuro, el Fertilizante Orgánico absorbe más radiación solar, lo que permite que el suelo gane más temperatura y absorba los nutrientes más fácilmente. - Mejora la estructura y textura del suelo, haciendo que los suelos arcillosos sean más ligeros y los suelos arenosos más compactos. - Puede mejorar la permeabilidad del suelo ya que afecta el drenaje y la aireación. - La lluvia ayuda a reducir el consumo de agua para riego porque aumenta la retención de agua del suelo y aumenta su absorción. - Reduce la erosión provocada por la acción del agua o del viento. 	<ul style="list-style-type: none"> - Los fertilizantes orgánicos aumentan la absorción del suelo. - Reducen las fluctuaciones del pH - Mejoran la capacidad de intercambio catiónico del suelo, aumentando así la fertilidad 	<ul style="list-style-type: none"> - Los fertilizantes orgánicos promueven la aireación y la oxigenación del suelo. - aumentan la actividad de las raíces y aumentan la actividad microbiana aeróbica. - Producen inhibidores y activadores del crecimiento que degradan la materia orgánica del suelo. - Aumentan en gran medida el desarrollo de microorganismos beneficiosos que promueven el crecimiento de los cultivos.

Fuente: (Byron, 2010, p. 5).

Realizado por: Mata, C., 2023.

2.2.2. Fertilizante

Son nutrientes artificiales de origen mineral. Estos están compuestos por los tres elementos básicos que son nitrógeno, fósforo y potasio y se denominan elementos mayoritarios o elementos básicos porque uno de los tres o los tres están siempre presentes en todas las formulaciones de fertilizantes (Luna, 2019, p. 7).

2.2.3. Biofertilizante

Es un fertilizante orgánico natural proveniente de materia prima orgánica, que proporciona al suelo los nutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas y crea un entorno microbiológico natural. Término genérico utilizado para describir la incorporación de materiales al suelo que permite el crecimiento óptimo de las plantas (INEN-209, 2016, p. 2).

2.2.4. Biol

El biol es la fracción líquida resultante de los lodos del biodigestor o digestor. Este 'lodo' se decanta o asienta para producir una porción líquida llamada 'biol'. Aproximadamente el 90% de material que ingresa al Biodigestor se convierte en Biol. Por supuesto, esto depende del tipo de material que se digiere y de las condiciones de fermentación (Aparcana y Jansen, 2008, p. 3).

El Biol es un excelente fertilizante orgánico líquido foliar que ayuda a que las plantas crezcan verdes y produzcan buenos frutos en papa, maíz, trigo, habas, hortalizas y árboles frutales. El biol está hecho con una variedad de fertilizantes que deben fermentarse en barriles de plástico durante 1-3 meses. Los Bioles nutren, restauran y rejuvenecen la vida del suelo y aumentan la fertilidad de las plantas. Es un fertilizante líquido que promueve la protección de las plantas contra las infestaciones de insectos y enfermedades, permite que reemplace a la mayoría de los fertilizantes químicos (Byron, 2010, p. 17).

El Biol es muy útil como fertilizante líquido para aplicación a través del sistema de riego. A continuación, se presenta una tabla de dosis de referencia por tipo de cultivo.

Tabla 2-2: Dosificación de Biol

Cultivo	Dosificación
Papa	300 litros de Biol/ha en 3 aplicaciones foliares. Cada aplicación en una dilución el 50% (100 litros de Biol en 200 litros de agua)
Algodón	160 litros de Biol/ha en 4 aplicaciones foliares. Cada aplicación en una dilución del 20% (40 litros de Biol en 200 litros de agua)
Uva	320 litros de Biol/ha en 4 aplicaciones en una dilución c/u al 20%
Maíz	160 litros de Biol/ha en 4 aplicaciones, en dilución del 20%
Espárragos	320 litros de Biol/ ha en 4 aplicaciones, en una dilución c/u del 20%
Fresa	480 litros de Biol/ha en 12 diluciones (cada semana durante los 3 primeros meses) en dilución del 20 %

Fuente: (Aparcana y Jansen, 2008, p. 5)

Realizado por: Mata, C., 2023

Dentro del biol se requieren como materias primas esenciales el excremento animal y agua miel (melaza), pero se pueden agregar más elementos para enriquecer su composición final, a continuación, se nombran los que por su composición se han de utilizar en este trabajo:

2.2.4.1. Excremento animal (pollinaza)

Esta es una descripción general de una mezcla de heces, orina y productos de desecho. La composición fisicoquímica del estiércol depende, entre otras cosas, del tipo de ganado, la dieta y las condiciones en que se produce el estiércol (Ministerio del Ambiente y Agua de Ecuador 2020, p. 10).

Para este trabajo se tomó en consideración dentro de los tipos de excremento animal la pollinaza según (Trujillo et al. 2019, p. 6), al ser un residuo avícola y poseer una buena relación C/N posee los parámetros óptimos para la elaboración de un buen biol, como se muestra en sus análisis elementales y en sus análisis de nutrientes. Teniendo en cuenta que dentro de los residuos avícolas se tiene la pollinaza (que es excremento de pollos de engorde) y la gallinaza (que es proveniente de gallinas ponedoras), del que se presentan cuadros comparativos de donde se realizó la selección previa (NCh2880, 2003, p. 5).

Tabla 2-3: Análisis elemental de los residuos avícolas

Biomasa	C (%)	N (%)	C/N	Ceniza (%)	Humedad (%)	pH
Gallinaza (GG)	17,61	1,90	9,27	62,80	10,63	8,62
Pollinaza (PO)	24,53	2,48	9,89	25,19	18,84	8,74
(GG-PO)	16,00	2,37	6,75	37,38	15,44	8,51

Fuente: (Trujillo et al. 2019, p. 6).

Realizado por: Mata, C., 2023.

En la tabla 2-3 del análisis elemental se puede observar que los porcentajes de carbono y nitrógeno son más altos para la pollinaza, de igual manera C/N; en cuanto al porcentaje de ceniza se observa que el de la pollinaza es menos a la de la gallinaza al igual que la mezcla de pollinaza con gallinaza, las humedades presentadas son con previo secado al ambiente y finalmente observamos un pH muy alcalino, normal dentro de los valores reportados que son entre 8-9.

Tabla 2-4: Caracterización química de los residuos avícolas

Biomasa	Gallinaza (GG)	Pollinaza (PO)	(GG-PO)
N (g/100 g)	1,90	2,48	2,37
P (mg/kg)	20578,72	12882,65	18312,17
K (mg/kg)	34835,73	12470,29	24894,81
Na (mg/kg)	7920,46	7208,20	8512,91
Ca(mg/kg)	269822,48	27217,44	74349,30
Cu (mg/kg)	56,51	42,82	55,02
Fe (mg/kg)	6363,08	1770,82	3371,57
Mg (mg/kg)	87539,58	30040,69	58580,32
Mn (mg/kg)	493,95	364,56	423,49
Zn (mg/kg)	425,53	380,38	421,83

Fuente: (Trujillo et al. 2019, p. 7).

Realizado por: Mata, C., 2023.

Como se puede observar en la tabla 2-4, el contenido de macronutrientes (P, K, Na, Ca y Mg) de la gallinaza muestra valores mayores a los presentados para la pollinaza, a excepción de nitrógeno con una composición menor. De la misma manera se observa con relación a los micronutrientes (Fe, Cu, Mn y Zn), esto a razón de que las camas de las gallinas son más ricas en nutrientes que la de los pollos de engorde.

En cuanto al análisis microbiológico tanto para la gallinaza como para la pollinaza se observa a continuación:

Tabla 2-5: Contenido de microorganismos en la gallinaza (fresca)

Indicadores	Gallinaza
Bacterias viables totales ufc/g	1.19 x 10 ¹⁰
Lactobacilos, ufc/g	1.81 x 10 ⁹
Levaduras, ufc/g	9.6 x 10 ⁷
Coliformes, ufc/g	5.67 x 10 ⁹
pH	7,80
% MS	21.78

Fuente: (García, Elías y Herrera, 2005, p. 76).

Realizado por: Mata, C., 2023.

Tabla 2-6: Análisis Microbiológico de la pollinaza (fresca y seca)

Organismos presentes en la Pollinaza	Fresca	Seca al aire	LPM
Bacterias totales (ufc . g-1 pollinaza)*	6.8 x 10 ⁶	9.8 x 10 ⁴	< 10 ⁶
hongos totales (uft . g-1 pollinaza)**	2.6 x 10 ⁴	4.6 x 10 ³	< 10 ⁴
coliformes totales (ufc . g-1 pollinaza)*	3.2 x 10 ²	87	< 200
Salmonellas (ufc . g-1 pollinaza)	(-)	(-)	< 200
*ufc. g-1 unidades formadoras de colonias por gramo de pollinaza muestreada.			

**uft. g-1 unidades formadoras de talos por gramo de pollinaza muestreada.

(-) negativo la presencia de Salmonella en 25g de muestra de pollinaza.

LPM: límite permisible microorganismo en el suplemento.

Fuente: (Calderón y Iglesia, 2006, p. 2).

Realizado por: Mata, C., 2023

Comparando la tabla 2-5 y 2-6 tenemos que la gallinaza presenta más carga microbiana que la pollinaza, siendo esta más perjudicial, por más cantidad de nutrientes que presente. Según (García, Elías y Herrera, 2005, p. 76) nos dice que el crecimiento de los lactobacilos no se contrarresta al secarse al aire libre, y que el sistema más conveniente para este tipo es la fermentación; según los análisis de resultados es la fermentación estática, que nos ayuda a determinar de igual manera el tipo de biodigestor a diseñar para este trabajo técnico. De igual manera el pH influye en el crecimiento de bacterias, si el pH aumenta siendo más alcalino entonces tenemos que el número de bacterias totales (como la E. coli) también crece.

Podemos decir que aprovechamos este residuo avícola como excremento, debido a la abrumadora demanda de pollo por parte de los ecuatorianos, lo que ha provocado que la pollinaza se produzca en exceso. Se ha estimado que un pollo puede producir de 80 a 100 g de estiércol al día (Manogaran et al., 2022, p. 3) y si los pollos de engorde permanecerán en el establo durante 2 días antes de ser enviados al mercado, obtendremos 4.200 g de estiércol. Suponiendo que normalmente se mantienen 300 pollos en un corral, se produce alrededor de 1.260.000 gramos. Esto equivale a 1260 kg de estiércol en un galpón.

2.2.4.2. *Melaza*

Uno de los productos procesados de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) en la producción o refinación de azúcar (INEN 1701, 1989, p. 1). Es responsable de aportar la energía necesaria para activar el metabolismo microbiológico con el fin de mejorar el proceso de fermentación. También aporta pequeñas cantidades de otros componentes minerales como el boro y el magnesio.

2.2.4.3. *Suero de leche*

Es un producto lácteo líquido obtenido de la fabricación de queso, caseína o productos similares mediante la separación de la cuajada después de la coagulación de la leche pasteurizada y/o productos derivados de la leche pasteurizada. La coagulación se logra principalmente por enzimas del cuajo (INEN 2594, 2011, p. 2), además el lactosuero líquido debe almacenarse en la cadena de almacenamiento y distribución de frío a una temperatura de 4 ± 2 °C y su transporte debe realizarse en condiciones adecuadas que garanticen la conservación del producto. Su aportación

para el biol es el de reavivar el preparado al igual que la melaza. Contribuyendo con las proteínas, vitaminas, grasas y aminoácidos necesarios para la fermentación de este compuesto orgánico.

Tabla 2-7: Tipos de suero de leche líquidos

Suero de leche ácido	Suero de leche dulce	Suero de leche concentrado
La coagulación se produce principalmente como resultado de la acidificación química y/o bacteriana.	El contenido de lactosa es más alto y la acidez más baja que el suero ácido.	Es el producto líquido que se obtiene de la remoción parcial de agua de los sueros, mientras permanecen todos los demás constituyentes en las mismas proporciones relativas.

Fuente: (INEN 2594 2011, p. 2)

Realizado por: Mata, C., 2023

2.2.4.4. *Residuos orgánicos*

Se refiere a todos los que se originan a partir de organismos vivos, animales o plantas. Abarca una amplia variedad de residuos que ocurren naturalmente durante el "ciclo de vida" como resultado de funciones fisiológicas de mantenimiento y conservación, o que son productos de la explotación humana de los recursos biológicos (Ministerio del Ambiente y Agua de Ecuador, 2020, p. 11).

2.2.4.5. *Levadura*

El papel de los Microorganismos Eficientes Autóctonos, por sus siglas en inglés (EMA) o levadura de panadería añadida en la producción de fertilizantes es acelerar el proceso de fermentación en biofermentadores es contribuir a la descomposición de la materia orgánica y facilitar la formación de quelatos (Byron, 2010, p. 7).

2.2.4.6. *Agua*

Tiene la función de promover el medio líquido en el que se incrementan todas las reacciones bioenergéticas y químicas de la fermentación anaeróbica del biol (Byron, 2010, p. 11).

2.2.4.7. *Cenizas de hueso de res*

La harina de huesos es un polvo fino de origen animal elaborado a partir de los productos de desecho de la industria cárnica. La harina de huesos es una fuente de proteínas y minerales utilizados como fertilizante para plantas y alimento para rumiantes. Se lo utiliza principalmente en la agricultura debido a su alto contenido de Ca y P, elementos esenciales para el crecimiento

de las plantas, además de que es fácilmente disponible y económico de obtener. Es importante mencionar que el contenido de estos elementos depende únicamente del tipo de hueso utilizado.

En general, los huesos de vaca se utilizan para obtener harina, en lo que podemos observar que apuntan a niveles más bajos de fósforo los huesos planos a diferencia de los más largos y gruesos, donde se puede obtener más cantidad de este mineral. Se pueden utilizar diversas técnicas para obtener la harina de huesos que el autor considere necesaria, pero por supuesto la calidad y contenido mineral dependerá de la técnica utilizada. (Roa, 2019, p. 5) menciona 3 técnicas principales para la obtención de harina:

Tabla 2-8: Técnicas para obtención de harina o ceniza de hueso

MÉTODO DE HUESOS EN BRUTO	MÉTODO DE HUESOS AL VAPOR	MÉTODO DE HUESOS CALCINADOS
Los huesos se hierven en un caldero abierto durante varias horas para disolver la grasa y los residuos de carne, pero la temperatura no es demasiado alta y puede agotar los niveles de proteína, Ca y P. Después de la cocción, los huesos se secan, se muelen y se tamizan.	Los huesos se lavan con agua caliente y posteriormente se les añade Na_2CO_3 para eliminar cualquier resto de carne y tejido óseo. Se introducen en la autoclave durante un tiempo estimado de 8 horas, finalizando con huesos blancos limpios libres de microbios y bacterias. Listo para secar, triturar y tamizar.	Al igual que en la Técnica 2, los huesos se lavan y se colocan en una mufla u horno donde se exponen a temperaturas entre 600 y 800 grados centígrados, al final obtenemos huesos frágiles que facilitan el proceso de molienda y tamizado.

Fuente: (Roa, 2019, p. 10).

Realizado por: Mata, C., 2023.

Un aspecto relacionado a considerar al usar cualquiera de estas tres técnicas es asegurarse de que el hueso esté esterilizado. Esto elimina la presencia de microorganismos peligrosos y evita la propagación de enfermedades e infecciones que pueden causarlos. La composición estimada obtenida aplicando cada método se resume en la siguiente tabla.

Tabla 2-9: Composiciones aproximadas de los 3 métodos para la 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. 10).

Realizado por: Mata, C., 2023.

El análisis de los resultados que se muestran en la Tabla 2-9 muestra que el método 3 es el método recomendado. Esto se debe a que posee un alto porcentaje de Ca y P, lo que garantiza su uso efectivo como fertilizante. Además, se realiza una esterilización adecuada durante el proceso, por lo que está libre de microorganismos y olores.

En este estudio, utilizamos un método de preservación ósea que utiliza peróxido de hidrógeno (H_2O_2). Esto se debe a que es un método sencillo, rápido y muy económico en comparación con otros métodos como el hipoclorito de sodio (lejía) y la maceración. El H_2O_2 se caracteriza por su poder oxidante en presencia de materia orgánica o algunos metales, por lo que su principal aplicación se centra en la esterilización y es de gran utilidad en procedimientos de conservación de huesos (Palomo y Zamora, 2009, p. 7). El ácido acético (vinagre) tiene un efecto desinfectante, por lo que cocinar huesos con este ácido elimina grasa, bacterias y hongos durante la cocción, manteniendo las muestras libres de suciedad y olores desagradables, pero la desventaja son las emisiones. Para gases que pueden resultar tóxicos por olores fuertes, es recomendable realizar esta técnica en un lugar bien ventilado. La técnica de preservación ósea que usa H_2O_2 se ilustra en el siguiente diagrama de flujo:

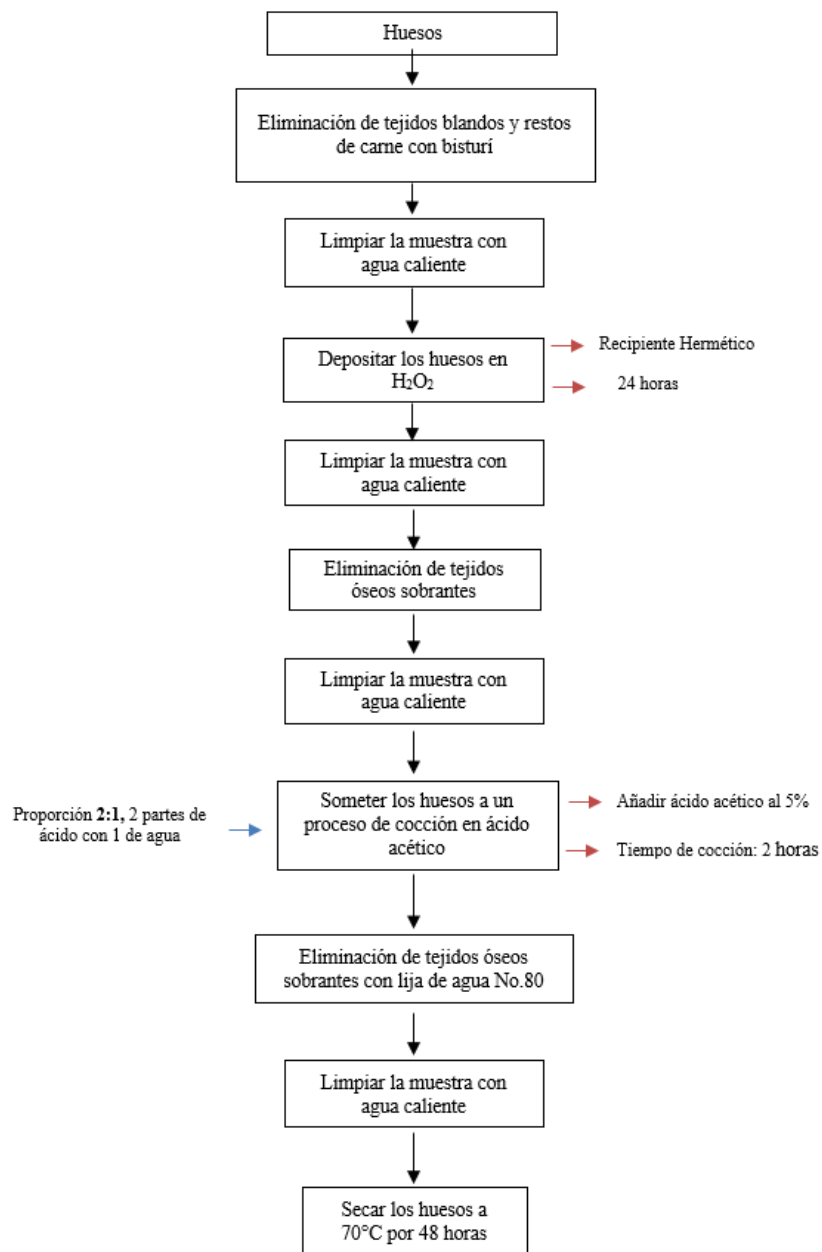


Ilustración 2-1: Diagrama de flujo del pretratamiento de huesos de res con H₂O₂

Fuente: (Roa, 2019, p. 10).

Realizado por: Mata, C., 2023.

Como podemos observar en el diagrama de flujo, esta técnica de obtención de huesos blancos consiste en, una vez recibidos los huesos, sacar la mayor cantidad de carne y restos de tejidos adheridos al hueso con la ayuda de un bisturí, para proceder a lavarlos con agua caliente para la eliminación de impurezas que proviene de los propios mataderos o el potrero donde se encuentra la res. A continuación los sumergimos en peróxido por unas 24 horas, procurando cubrir a totalidad el hueso en un recipiente hermético para evitar la fuga de olores desagradables al ambiente, una vez transcurrido el tiempo se lo vuelve a lavar preferiblemente con agua caliente para garantizar la limpieza de la grasa proveniente del propio hueso, volvemos a remover los

restos de tejidos restantes para volverlos a lavar y entrar en un proceso de cocción con ácido acético al 5% y agua, a razón de 2:1 respectivamente, durante 2 horas.

Al finalizar el proceso de cocción, procuramos retirar totalmente los pequeños residuos de tejido con una lija de agua n°80, este trabajo es sumamente fácil ya que en la olla se desprendió casi a totalidad la grasa y carne difíciles de remover aun con bisturí, para limpiar el hueso en este proceso se finaliza lavándolos con agua caliente. Ya teniendo el hueso totalmente limpio, lo secamos a una temperatura de unos 70°C por 48 horas para con esto además de garantizar la pérdida de humedad adquirida por el proceso, también se reduzca la grasa proveniente del tuétano, grasa que es innecesario para los siguientes procesos.

Esta técnica demora alrededor de 48 horas, más las 48 horas restantes en el secado, dependiendo de la cantidad de muestra ha obtener, siempre que cumpla con las normas establecidas por la NTC 657 se conseguirá huesos y tejido óseo libres de grasa y de apariencia blanquecina, libres de impurezas y olores desagradables, e ideales para la obtención de harinas utilizadas como fertilizantes y alimento para ganado.

2.2.5. Fermentación

Es la conversión de materia orgánica para la producción de compuestos por bacterias y levaduras y puede ocurrir en ausencia o presencia de oxígeno (Luna, 2019, p. 7).

2.2.6. Biomasa

La biomasa, abreviatura de masa biológica, es un término general que se refiere a la cantidad de organismos producidos por plantas, animales, hongos o bacterias en un área particular. A menudo se utiliza para referirse a materias primas para combustibles energéticos derivados directa o indirectamente de estos recursos biológicos. Otra característica que distingue a la biomasa de otros recursos naturales es que es un recurso potencialmente renovable. El carbón, el gas, el petróleo y otros combustibles fósiles son de origen biológico, pero no se consideran biomasa. El tiempo que tardan en tomar forma estos combustibles (millones de años) hace que no puedan considerarse renovables (Jaramillo, 2011, p. 23).

2.2.6.1. Tipos de biomasa

Se presenta a continuación un cuadro resumen de los tipos de biomasa existentes:

Tabla 2-10: Tipos de biomasa

Biomasa natural: Ocurre espontáneamente en la naturaleza sin intervención humana. Un ejemplo es la poda de árboles.	Biomasa residual húmeda: Proviene de aguas residuales municipales, aguas residuales industriales y efluentes biodegradables formados a partir de desechos animales.
Biomasa residual seca: Proviene de aguas residuales municipales, aguas residuales industriales y efluentes biodegradables formados a partir de desechos animales.	Cultivos energéticos tanto forestales como agrícolas: Son cultivos que se desarrollan tanto en terrenos agrícolas como forestales y se dedican a la producción de biomasa con fines no alimentarios.

Fuente: (Jaramillo, 2011, p. 10).

Realizado por: Mata, C., 2023.

2.2.6.2. Fuentes de aprovechamiento para biomasa

Algunos residuos agrícolas como la leña o el carbón han sido usados en procesos tradicionales en los países en vías de desarrollo en la cocción de alimentos o en las pequeñas actividades productivas como la panadería, caldera, secado de granos, etc. Pero existen un sin números de fuentes de biomasa como los mostrados en la tabla 2-11.

Tabla 2-11: Característica física de distintas fuentes de biomasa

Recursos de biomasa	Tipo de residuo	Características físicas
Residuos forestales	Restos de aserrío: corteza de aserrín, astillas.	Polvo, sólido, humedad relativa (HR)>50%
	Restos de ebanistería: aserrín, trozos, astillas	Polvo sólido, HR 30-45%
	Restos de plantaciones: ramas, corteza, raíces.	Sólido, HR>55%
Residuos agropecuarios	Cáscara y pulpa de frutas y vegetales	Sólido, alto contenido humedad
	Cascara y polvo de granos secos (arroz, café)	Polvo, HR<25%
	Estiércol	Sólido, alto contenido humedad
	Residuos de cosechas: tallos y hojas, cascaras, maleza, postura.	Sólido, HR>55%

Residuos industriales	Pulpa y cascara de frutas y vegetales	Sólido, humedad moderna
	Residuos de procesamiento de carnes	Sólido, alto contenido humedad
	Aguas de lavado y precocido de carnes y vegetales	Líquido
	Grasas y aceites vegetales	Líquido, grasoso
Residuos urbanos	Aguas negras	Líquido
	Desechos domésticos orgánicos (cáscara de vegetales)	Sólido, alto contenido humedad
	Basura orgánica (madera)	Sólido, alto contenido humedad

Fuente: (Jaramillo 2011, p. 10).

Realizado por: Mata, C., 2023.

2.2.6.3. *Parámetros y condiciones para caracterizar la biomasa*

Para evaluar la viabilidad técnica y económica de los procesos de conversión de biomasa en energía, se requieren parámetros y condiciones específicos para caracterizar y determinar el proceso de conversión óptimo y permitir la predicción de los beneficios económicos y ambientales.

Tabla 2-12: Parámetros para la elección del proceso más adecuado

Porcentaje de ceniza	Indica la cantidad de sólidos no combustibles por kilogramo de material. Es importante conocer este porcentaje ya que puede ser utilizado en algunos casos en procesos de quema de biomasa.
Densidad aparente	Es el peso por unidad de volumen de un material en su estado físico bajo condiciones específicas. Los combustibles de mayor densidad aparente favorecen la relación de energía por unidad de volumen, lo que requiere tamaños de equipo más pequeños y tiempos más prolongados entre cargas. Por otro lado, los materiales con densidades aparentes más bajas requieren mayores volúmenes de almacenamiento y transporte y, en algunos casos, problemas de flujo gravitacional, lo que complica el proceso de combustión y aumenta los costos del proceso.
Composición química y física	Determinan el tipo de combustible o subproducto energético que se puede producir, tales como: los desechos animales producen metano, mientras que la madera puede producir lo que se llama un “gas productor”, una mezcla rica en monóxido de carbono (CO).
	La cantidad de calorías por unidad de masa es el parámetro que determina la energía disponible en un bioma. Esto está directamente relacionado con el contenido de humedad, con un alto porcentaje de

Poder caloríficos	humedad que reduce la eficiencia de la combustión. Esto se debe a que la mayor parte del calor liberado se utiliza para evaporar el agua y no para reducir químicamente el material.
Contenido de humedad relativa (H.R)	Es la relación de la masa de agua contenida en un kilogramo de materia seca. Un contenido de humedad de la biomasa de menos del 30 % es esencial para la mayoría de los procesos de conversión de energía. Dado que los residuos salen varias veces del proceso productivo con un contenido de humedad mucho mayor, es necesario realizar operaciones de acondicionamiento antes de entrar en el proceso de conversión energética.
Recolección, transporte y manejo	Las condiciones de recogida, transporte y manipulación en las plantas de biomasa son factores determinantes en los costes de inversión y estructuras operativas en todos los procesos de conversión de energía. Para lograr la operación del sistema más allá del punto de equilibrio de los procesos convencionales, se requiere un análisis detallado de la posición del material con respecto a la distancia a la planta de procesamiento y el punto de uso de la energía convertida.

Fuente: (Jaramillo, 2011, p. 10).

Realizado por: Mata, C., 2023.

2.2.6.4. Aplicación energética de la biomasa

La transformación que se produce en la biomasa es utilizada y aprovechada para las distintas energías como:

Tabla 2-13: Aplicación de la biomasa

Energía térmica:	Este es el uso más extenso de biomasa natural y residual, los sistemas de combustión directa pueden usarse directamente para cocinar, calentar o secar, y el vapor liberado también puede usarse para generación de energía o procesos industriales.	
Energía eléctrica	El biogás obtenido de la fermentación de biomasa a través de la conversión de biomasa de cultivos energéticos, biomasa selvática y residuos industriales también se puede utilizar para generar electricidad. La tecnología para obtener energía eléctrica depende del tipo y cantidad de biomasa como:	Ciclo de vapor: Se basa en la quema de biomasa para producir vapor que luego se expande en una turbina.
		Turbina de gas: Utiliza gas de síntesis procedente de la gasificación de materias primas sólidas. Cuando los gases de escape de una turbina se utilizan en un ciclo de vapor, se denomina ciclo combinado.
		Motor alternativo: Utiliza gas de síntesis de la gasificación de materias primas sólidas o biogás de la digestión anaeróbica.
Energía mecánica	Dado que son biocombustibles y pueden sustituir total o parcialmente a los combustibles fósiles, pueden suministrar bioalcoholes para motores de gasolina y bioaceites para motores diésel.	

Fuente: (Jaramillo, 2011, p. 10).

Realizado por: Mata, C., 2023.

2.2.7. Biogás

El biogás es una mezcla gaseosa producida por la descomposición de materia orgánica en condiciones anaeróbicas, cuyos componentes principales son el metano y el dióxido de carbono, que se generan cuando los microorganismos fermentan la materia orgánica en ausencia de aire. Sin usos alternativos, el metano se libera a la atmósfera y contribuye a aumentar las concentraciones de gases de efecto invernadero. Sin embargo, puede usarse como combustible transformándose en CO₂ y vapor de agua con los sistemas de recolección y acondicionamiento adecuados, los mismos que son atrapados por las plantas y retornando al suelo, ayudando así a la atmósfera.

Es una mezcla de gases que está compuesta por:

Tabla 2-14: Composición del biogás

Metano (CH₄): 40-70% vol.	
Dióxido de carbono (CO₂): 30-60% vol.	
Otros gases: 1-5 % vol.	Hidrógeno (H₂): 0-1% vol.
	Sulfuro de hidrogeno (H₂S): 0-3% vol.

Fuente: (Jaramillo 2011, p. 10)

Realizado por: Mata, C., 2023

Las propiedades del biogás dependen de la presión y la temperatura. El poder calorífico del biogás es equivalente a aproximadamente 0,5 litros de gasóleo. El poder calorífico neto depende de la eficiencia del quemador en su aplicación. El biogás se puede utilizar como cualquier otro combustible en lugar de leña, queroseno o GLP. Cabe aclarar que este gas solo se puede utilizar como combustible si se encuentra metano en concentraciones de al menos el 50%. Tiene un olor a huevo podrido, pero si se lo filtra el olor del gas desulfurado es imperceptible (Miah et al. 2016, p. 26).

2.2.8. Digestión anaeróbica

La biometanización o digestión anaeróbica es la degradación de materiales orgánicos por microorganismos en ausencia de oxígeno. Es un proceso biológico de varios pasos en el que el carbono orgánico se convierte principalmente en dióxido de carbono y metano (Miah et al., 2016, p. 4). La digestión anaeróbica es realizada por un grupo de bacterias que no requieren oxígeno, también llamados microorganismos bacterianos anaeróbicos. Al actuar sobre los residuos

orgánicos de origen vegetal y animal (estiércoles, residuos alimentarios, residuos forestales, residuos agrícolas), produce una mezcla gaseosa con una elevada proporción de CH₄ (metano) denominada biogás y este es muy eficiente de usar como combustible. Según (Jaramillo 2011, p. 31) casi toda la porción líquida orgánica es digerida, y lo que queda es mayormente agua, que puede pasar a otro depósito para su evaporación, o ser utilizada en riego y fertilización orgánica. Como resultado de este proceso se generan residuos con un alto grado de concentración de nutrientes y materia orgánica (ideales como fertilizantes) que pueden ser aplicados frescos, pues el tratamiento anaerobio elimina los malos olores y la proliferación de moscas. Inicialmente los fertilizantes orgánicos se habían considerado solamente un producto secundario, pero actualmente se está considerando de la misma importancia, o mayor que el biogás ya que provee un fertilizante natural que mejora de manera significativa el rendimiento de las cosechas.

Los beneficios de la digestión anaeróbica son evitar que libere metano al aire, ayuda a mitigar el cambio climático, reduce la contaminación del agua mediante el uso de materias primas que pueden terminar en ríos y lagos, las materias primas se obtienen fácilmente del ganado y los costos de mano de obra son bajos, un suministro regular de estiércol de vaca y otras materias primas es económicamente viable y ocupa un área más pequeña que las del Tratamiento de Residuos Sólidos Municipales, además que mejora la higiene al reducir los malos olores (Jaramillo 2011, p. 36).

2.2.9. Fases de la digestión anaerobia

En la siguiente tabla podemos observar las etapas que intervienen en la digestión anaeróbica y sus principales características:

Tabla 2-15: Fases de la digestión anaeróbica

Fase de hidrólisis	Fase de acidificación	Fase metanogénica
Las bacterias de esta primera etapa toman la materia orgánica virgen con sus largas cadenas de estructuras carbonadas y las van rompiendo y transformando en cadenas más cortas y simples (ácidos orgánicos) liberando hidrógeno y dióxido de carbono. Este trabajo es llevado a cabo por un complejo de microorganismos	Esta etapa la llevan a cabo las bacterias acetogénicas y realizan la degradación de los ácidos orgánicos llevándolos al grupo acético CH ₃ -COOH y liberando como productos Hidrógeno y Dióxido de carbono. Esta reacción es endoenergética pues demanda energía para ser realizada y es posible gracias a la estrecha relación simbiótica con las bacterias metanogénicas que substraen los	Las bacterias intervinientes en esta etapa pertenecen al grupo de las achibacterias y poseen características únicas que las diferencian de todo el resto de las bacterias por lo cual, se cree que pertenecen a uno de los géneros más primitivos de vida colonizadoras de la superficie terrestre.

<p>de distinto tipo que son en su gran mayoría anaerobios facultativos.</p>	<p>productos finales del medio minimizando la concentración de los mismos en la cercanía de las bacterias acetogénicas.</p> <p>Esta baja concentración de productos finales es la que activa la reacción y actividad de estas bacterias, haciendo posible la degradación manteniendo el equilibrio energético.</p>	
---	--	--

Fuente: (Hilbert 2003, p. 5).

Realizado por: Mata, C., 2023.

A continuación, se muestra de manera resumida cada fase, presentando las reacciones químicas que intervienen en el proceso:

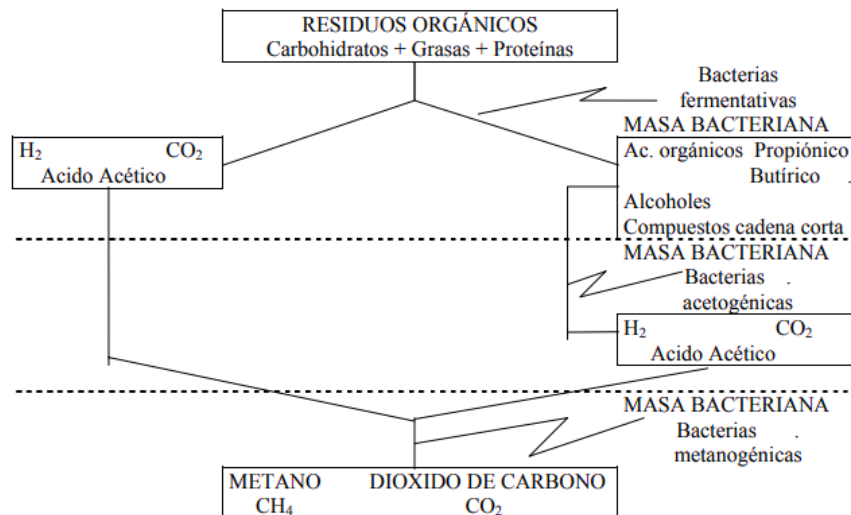
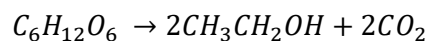
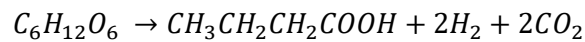
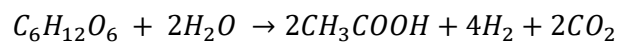


Ilustración 2-2: Proceso fermentativo del Biol

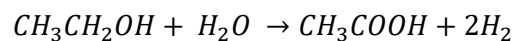
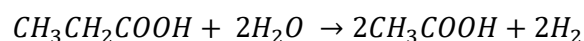
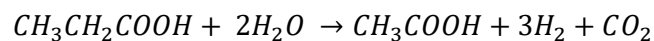
Fuente: (Hilbert 2003, p. 8).

La figura muestra que la materia orgánica en etapa de hidrólisis o licuefacción está compuesta principalmente por biopolímeros, polisacáridos, lignina, proteínas, ácidos nucleicos y lípidos. Estos sustratos son sólidos, lo que dificulta que los microbios anaeróbicos absorban los nutrientes que necesitan sin la acción de exoenzimas que hidrolizan sustancias de alto peso molecular para producir mezclas de oligómeros y monómeros. Por ejemplo, las proteínas se hidrolizan para formar peptonas, aminoácidos y cetoácidos solubles en agua y sal, mientras que la hidrólisis de polisacáridos forma azúcares simples, principalmente oligosacáridos, ácidos orgánicos y alcoholes. En esta etapa, el microbiota involucrado es muy diversa e incluye grupos anaerobios facultativos.

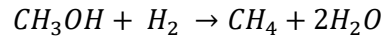
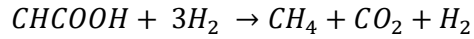
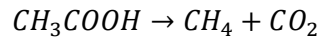
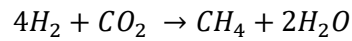
En la etapa acidogénica, las bacterias acidogénicas convierten los ácidos grasos, los aminoácidos y los azúcares en alcoholes, dióxido de carbono, hidrógeno y ácidos carboxílicos, como el ácido grasos volátiles. Los ácidos grasos de cadena larga se convierten en ácidos grasos de cadena corta mediante beta-oxidación. La oxidación beta convierte los ácidos n-carboxílicos en ácidos n-2-carboxílicos mientras libera ácido acético, por lo que los ácidos carbonados pares producen solo ácido acético, y los ácidos impares producen ácido acético y ácido propiónico. La siguiente reacción describe globalmente el proceso bioquímico de formación de ácido que puede acompañar a la fermentación alcohólica:



En la etapa de acetogénesis, el AGV y el alcohol previamente formado se convierten en acetato, dióxido de carbono e hidrógeno. Las bacterias productoras de ácido se desarrollan relativamente tarde, y estas bacterias forman un grupo muy heterogéneo, con tres poblaciones distintas. Primero las bacterias fermentadoras, luego las bacterias productoras de hidrógeno obligadas y finalmente las bacterias homoacetogénicas. Las siguientes reacciones generalmente describen el proceso de producción de ácido acético a partir de ácido propiónico, ácido butírico o alcoholes.



Durante la metanogénesis, el ácido acético y el metanol (u otros compuestos simples que puedan formarse) se convierten en dióxido de carbono y metano. El hidrógeno se utiliza para reducir el CO₂ y formar metanol. Los sustratos más comunes para Archadea son el acetato y las mezclas de H₂/CO₂. Otros sustratos posibles son el ácido fórmico, el metanol, la bentoamina o los sulfuros. La conversión del ácido láctico en metano también es posible ya que el ácido láctico se consume más rápido que el ácido acético durante el proceso. Es la vía principal para la metanogénesis. A continuación, se describen las reacciones de la metanogénesis de los diversos sustratos:



El proceso aeróbico está impulsado por la intervención de otros factores como el pH, la temperatura, la disponibilidad de nutrientes, la presencia de sustancias tóxicas, el tiempo de retención y la relación carbono-nitrógeno (C:N).

2.2.10. Condiciones del proceso anaeróbico

2.2.10.1. Alcalinidad y pH

Este parámetro determina la inhibición o toxicidad de los metanógenos. Esta patología se presenta cuando está por debajo de 6,0. La funcionalidad suficiente se logra a valores de pH de biofermentadores entre 6,5 y 7,5 (Vargas 2010, p. 7).

2.2.10.2. Temperatura

Se han definido tres entornos libres de oxígeno, en función de la temperatura. Se recomiendan los siguientes rangos de temperatura para que el Biodigestor funcione correctamente en cada ambiente.

Tabla 2-16: Rangos de temperatura por tipo de ambiente

Tipo de ambiente	Rangos de temperatura
Psicofílico	0 – 20 °C
Mesofílico	20 a 45 °C
Termofílico	5 a 97 °C

Fuente: (Oyala y Gonzales 2009, p. 12)

Realizado por: Mata, C., 2023

2.2.10.3. Tiempo de retención

El tiempo de residencia se define como el tiempo que la materia orgánica permanece en el sistema para lograr la descomposición. El tiempo de residencia está directamente relacionado con la temperatura ambiente y en condiciones óptimas de proceso, a una temperatura de ± 30 °C, el tiempo de residencia (T_r) debería ser de 20 días. Sin embargo, algunos autores proponen tiempos de residencia respectivos para cada ambiente, que comúnmente ocurren en las plantas de biogás debido a las fluctuaciones de temperatura que son difíciles de controlar (Oyala y Gonzales 2009, p. 12).

Tabla 2-17: Tiempo de retención

Ambiente	Tiempo de retención (Días)
Psicofísico	>40
Mesofílico	10 - 40
Termofílico	<10

Fuente: (Oyala y Gonzales 2009, p. 12).

Realizado por: Mata, C., 2023.

Este cambio de temperatura afecta el tiempo de retención. Los tiempos de retención varían según un factor de corrección que se puede encontrar utilizando la Figura 2-2.

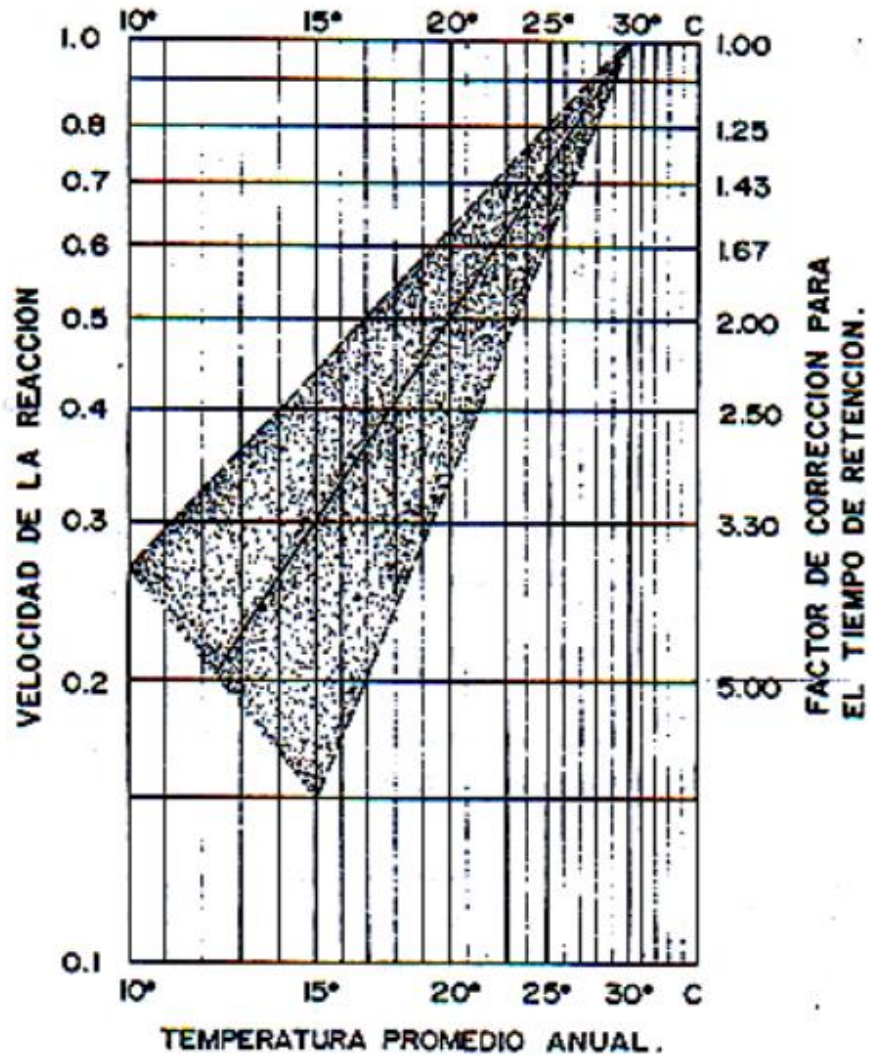


Ilustración 2-3: Influencia de la temperatura sobre el tiempo de retención

Fuente: (Oyala y Gonzales, 2009, p. 13).

2.2.10.4. Relación C/N

Esta relación influye sobre la producción de gas, teniendo como relación adecuada de 20:1 a 30:1 (Oyala y Gonzales, 2009, p. 13).

2.2.10.5. Amoniaco

Los valores en el sistema deben mantenerse por debajo de 2000 mg/l para que el biofermentador funcione correctamente (Oyala y Gonzales, 2009, p. 11).

2.2.11. Biodigestor

Un digestor de biorresiduos (residuos orgánicos) o biodigestor es un recipiente cerrado e impermeable (reactor) en el que se deposita la materia orgánica a fermentar (desechos animales y humanos, desechos vegetales, a excepción de los cítricos que son excluidos por acidificación). Produce como resultado gas metano (biogás) y fertilizantes orgánicos ricos en nitrógeno, fósforo y potasio (Biol)(Jaramillo, 2011, p. 30). La función principal de los biodigestores rurales es capturar las emisiones de metano (CH_4) generadas por la descomposición de la materia orgánica de las actividades agrícolas. De esta manera, es posible utilizar estos residuos como fuente de energía y minimizar la contribución de gases de efecto invernadero en el medio ambiente, las granjas que utilizan residuos, especialmente estiércol y agua miel(Hernández et al., 2021, p. 4), tienen además un buen resultado en su biol.

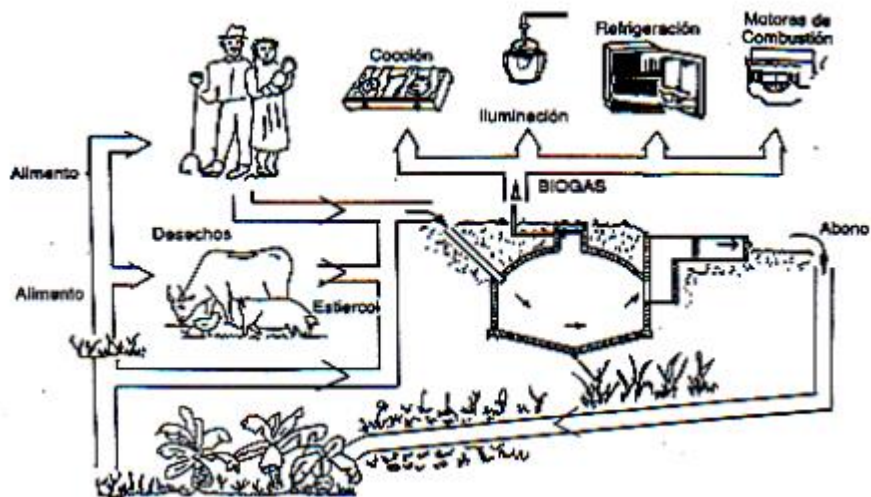


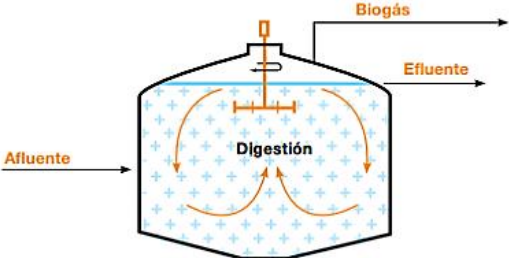
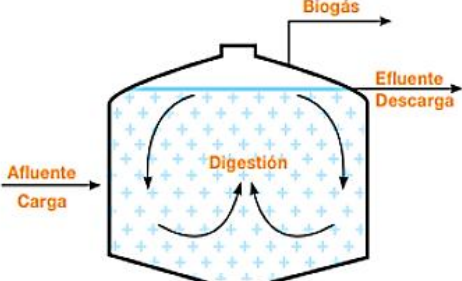
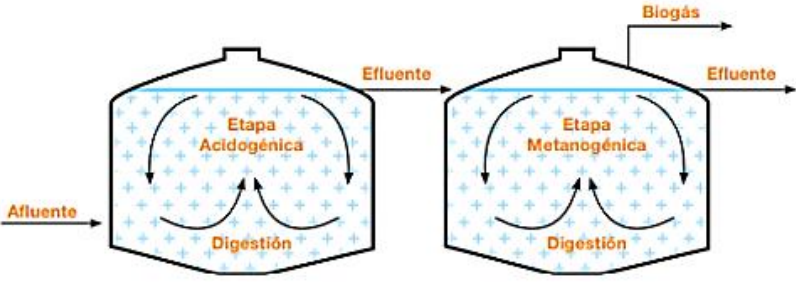
Ilustración 2-4: Reciclaje de desechos degradables y usos del biogás y bioabono

Fuente: (Oyala y Gonzales, 2009, p. 14).

2.2.11.1. Tipos de biodigestores

Cualquier empresa que genere una cantidad necesaria de cualquier tipo de desecho orgánico está en capacidad de implementar un sistema de biodigestión, de los cuales tenemos:

Tabla 2-18: Tipos de biodigestores

<p>Digestores de baja tecnología o sistemas continuos.</p>	<p>Estos digestores, generalmente, no necesitan calentamiento y son mezclados manualmente. El afluente que ingresa en este sistema es constante. Dentro de esta clasificación entran diferentes sistemas como lo son biodigestores de mezcla completa, filtro anaerobio, plantas de lecho fluidizado, lecho de lodos, biodigestores tubulares (tipo salchicha) y biodigestores de cúpula fija y móvil.</p> 
<p>Digestores discontinuos.</p>	<p>En estos modelos, el afluente se mantiene por largos tiempos dentro del biodigestor. Se carga una vez y se descarga cuando éste ha dejado de producir gas. Consisten en tanques herméticos con una salida de gas conectado a un almacenamiento de biogás. En este tipo de sistemas se pueden conectar varios biodigestores en serie que permita que la generación de biogás sea constante.</p> 
<p>Sistemas de dos etapas</p>	<p>Este sistema consta de dos biodigestores conectados en serie. En el primer biodigestor se aplican altos tiempos de retención donde se realiza el proceso de hidrólisis y la etapa acidogénica. Una vez terminado este proceso, el efluente es trasladado al segundo biodigestor donde se lleva a cabo la etapa metanogénica y la producción de biogás con tiempo de retención bajos. Este sistema es aplicable con éxito para tratar sólidos como frutas, verduras, residuos urbanos y de ganado</p> 

Fuente: (Miah et al. 2016, p. 24).

Realizado por: Mata, C., 2023

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Ingeniería del proyecto

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

3.1.1. Tipo de estudio

El tipo de investigación que se lleva a cabo en este trabajo de Integración Curricular es de carácter técnico, debido a la correlación entre la investigación y los experimentos a nivel laboratorio, asegurando así el mayor logro posible del producto final y por ende su descripción detallada y requisitos previos necesarios para su implementación a escala industrial. Para ello se definen variables y operaciones unitarias que intervienen en el proceso de obtención del producto.

3.1.2. Nivel de investigación

El nivel de investigación se basa en el tipo exploratoria-descriptiva. Este es un nuevo estudio sobre la producción de fertilizantes orgánicos líquidos (Biol) utilizando diferentes materias primas ricas en elementos primarios y secundarios que requieren los fertilizantes para que sean óptimos, ya que la información disponible es limitada. El propósito de este estudio, por lo tanto, es explorar nuevos métodos para producir fertilizantes ideales utilizando materias primas fácilmente disponibles y cómo afectan el ciclo de vida de las plantas en comparación con otros fertilizantes convencionales.

3.2. Métodos y técnicas

3.2.1. Métodos

Se fundamenta en los siguientes métodos:

Tabla 3-1: Métodos a seguir para el proyecto tipo técnico

Método Deductivo	La producción de fertilizantes requiere un conocimiento previo de métodos industriales basados en varios experimentos a nivel de laboratorio y experimentos en los que podemos sacar conclusiones de las suposiciones dadas.
Método Inductivo	Con este método sacamos conclusiones en base a los resultados obtenidos durante los experimentos, donde podemos conocer los procedimientos apropiados para obtener fertilizante orgánico y reproducirlos a escala industrial, caracterizando la materia prima que garantiza su calidad de acuerdo a lo establecido en la norma NTC 5167.
Método Experimental	Es el método básico a seguir para la obtención de fertilizantes a nivel de laboratorio, el mismo que brinda información suficiente para la ejecución del diseño del proceso con el uso de equipos y herramientas necesarios para la elaboración del producto final, el cual debe cumplir con los requisitos de la normativa vigente.

Realizado por: Mata, C., 2023.

3.2.1.1. Metodología experimental

Para el Biol a base de pollinaza y ceniza de huesos de animales, la norma técnica colombiana NTC ICONTEC 5167 “Productos agrícolas orgánicos utilizados como estiércol o fertilizante” establece técnicas que muestran el procedimiento a seguir para los diferentes análisis. Puesto que no hay normas específicas para las otras materias primas como la hojarasca, levadura de pan y residuos orgánicos, se ha tomado de bibliografía, análisis y estudios similares a éstas.

3.2.2. Técnicas

3.2.2.1. Técnica para la caracterización de la pollinaza

Tabla 3-2: 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	
Calibrar el medidor de pH. Pesar 10 g de la muestra, colocar en el vaso de precipitación y añadir 90 ml de agua destilada.	

Mezclar por 10 min. Dejar reposar la solución por 1 hora y luego medir el pH

Fuente: (NTC 5167, 2004, p. 7).

Realizado por: Mata, C., 2023.

Tabla 3-3: 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	
<p>Para determinar la humedad se empleó el método gravimétrico que consiste en pesar aprox. 30-55 g de la muestra en la balanza analítica.</p> <p>Llevar al secador de bandejas a 70°C por 24 horas o realizar toma de muestras cada 30 min hasta obtener peso constante.</p> <p>Cuando la muestra esté seca llevar al desecador hasta temperatura ambiente y pesar en la balanza analítica.</p> <p>Para caracterizar los resultados de mejor manera se puede comprobar la humedad con la utilización de una termobalanza.</p> <p>Comparar y expresar resultados.</p>	
Cálculos	
$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{Peso muestra húmeda} - \text{Peso muestra seca}}{\text{Peso muestra húmeda}} \times 100$	

Fuente: (NTC 5167, 2004, p. 4).

Realizado por: Mata, C., 2023.

Tabla 3-4: Determinación de la densidad

Determinación de la densidad	
Materiales y equipos	Sustancias y reactivos
Balanza analítica Probeta	Compost
Procedimiento	
<p>Depositar la muestra en una probeta hasta completar 30 ml.</p> <p>Pesar la cantidad de compost insertada en la probeta.</p> <p>Realizar los cálculos correspondientes.</p>	
Cálculos	

$$\text{densidad real en base seca } \frac{g}{\text{cm}^3} = \left[\frac{W_2 - W_1}{V} \right]$$

Donde:

W_1 = peso en g probeta vacía.

W_2 = peso en g probeta con muestra.

V = volumen ocupado por el material en la probeta (cm^3)

Fuente: (NTC 5167, 2004, p. 3).

Realizado por: Mata, C., 2023.

Tabla 3-5: 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	
Pesar 6 g de muestra y llevar a la mufla por 4 horas a 650°C. Esperar que la Temperatura descienda a 100°C y ser llevada a un desecador hasta alcanzar temperatura constante. Pesar la muestra final y realizar el cálculo correspondiente.	
Cálculos	
$\% \text{ cenizas} = \left[\frac{\text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} \times 100 \right] \left[\frac{100 - \% \text{ humedad}}{100} \right]$	

Fuente: (NTC 5167, 2004, p. 4).

Realizado por: Mata, C., 2023.

Tabla 3-6: 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	
Pesar 21 g de la muestra y adicionar agua destilada lentamente y agitar con una varilla de vidrio. Agitar hasta observar una superficie brillante, indicativo del punto máximo de saturación. Realizar los cálculos correspondientes.	
Cálculos	
$\% \text{ saturación} = \left[\frac{A \times 100}{W_m} \right] \left[\frac{100 - \% \text{ humedad}}{100} \right]$	

<p>Donde:</p> <p>A = volumen utilizado en ml.</p> <p>W_m = peso en g de la muestra.</p>
--

Fuente: (NTC 5167, 2004, p. 5)

Realizado por: Mata, C., 2023

Tabla 3-7: Determinación de la densidad

Determinación de la densidad	
Materiales y equipos	Sustancias y reactivos
Balanza analítica Probeta	Compost
Procedimiento	
Depositar la muestra en una probeta hasta completar 30 ml. Pesar la cantidad de compost insertada en la probeta. Realizar los cálculos correspondientes.	
Cálculos	
$\text{densidad real en base seca } \frac{g}{cm^3} = \left[\frac{W_2 - W_1}{V} \right]$ <p>Donde:</p> <p>W_1 = peso en g probeta vacía.</p> <p>W_2 = peso en g probeta con muestra.</p> <p>V = volumen ocupado por el material en la probeta (cm^3)</p>	

Fuente: (NTC 5167, 2004, p. 4)

Realizado por: Mata, C., 2023

3.2.2.2. Técnica para la caracterización de los huesos de animales

Tabla 3-8: Determinación de humedad

Determinación de la Humedad	
Materiales y equipos	Sustancias y reactivos
Secador de bandejas Balanza analítica Termobalanza Recipiente de aluminio Desecador	Harina de huesos
Procedimiento	
Pesar una muestra de ceniza en la balanza analítica. Llevar al secador de bandejas a 105°C hasta peso constante.	

<p>Cuando la muestra esté seca llevar al desecador hasta temperatura ambiente y pesar en la balanza analítica.</p> <p>Para caracterizar los resultados de mejor manera se puede comprobar la humedad con la utilización de una termobalanza.</p> <p>Comparar y expresar resultados.</p>
Cálculos
$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{Peso muestra húmeda} - \text{Peso muestra seca}}{\text{Peso muestra húmeda}} \times 100$

Fuente: (NTC 5167, 2004, p. 7)

Realizado por: Mata, C., 2023

Tabla 3-9: Determinación de grasas totales

Determinación de grasas	
Materiales y equipos	Sustancias y reactivos
Secador de bandejas Soxhlet Balanza analítica Desecador	Harina de hueso
Procedimiento	
<p>Lavar el balón del aparato Soxhlet y secarlo en la estufa calentada a $100 \pm 5^\circ\text{C}$, por el tiempo de una hora.</p> <p>Transferir al desecador y pesar con aproximación al 0,1 mg, cuando haya alcanzado la temperatura ambiente.</p> <p>Finalizada la extracción, recuperar el disolvente por destilación en el mismo aparato y eliminar los restos de disolvente a baño María.</p> <p>Colocar el balón que contiene la grasa, durante 30 min, en la estufa calentada a $100 \pm 5^\circ\text{C}$; enfriar hasta temperatura ambiente en el desecador y pesar.</p> <p>Repetir el calentamiento por períodos de 30 min, enfriando y pesando, hasta que la diferencia entre los resultados de dos operaciones de pesaje sucesivas no exceda de 0,2 mg.</p>	
Cálculos	
$G = \frac{(m_2 - m_1)}{m(100 - H)} \times 100$	
Dónde: <i>G</i> = contenido de grasa <i>m</i> = masa de la muestra, en g. <i>m</i> ₁ = masa del balón vacío, en g. <i>m</i> ₂ = masa del balón con grasa, en g. <i>H</i> = porcentaje de humedad en la muestr	

Fuente: (NTC 5167, 2004, p. 7).

Realizado por: Mata, C., 2023.

Para los análisis de calcio y fósforo se realizará en laboratorios externos avalados.

3.2.2.3. Técnica para la caracterización del suero de leche

Tabla 3-10: Determinación de pH

Determinación de pH	
Materiales y equipos	Sustancias y reactivos
Medidor de Ph Balanza analítica Vaso de precipitación 250 ml Agitador	Suero de leche líquido
Procedimiento	
Calibrar el medidor de pH. Pesar 10 ml de la muestra, colocar en el vaso de precipitación Medir el pH	

Fuente: (NTC 5167, 2004, p. 7).

Realizado por: Mata, C., 2023.

El resto de las pruebas como las proteínas se realizará en un laboratorio externo calificado.

3.2.2.4. Técnica para la caracterización de la melaza

Tabla 3-11: Grados Brix

Determinación de los grados Brix	
Materiales y equipos	Sustancias y reactivos
Refractómetro Vaso de precipitación 250 ml Paleta para toma de muestra Pañitos desechables	Melaza
Procedimiento	
Con la paleta tomar una porción mínima de muestra Colocar la muestra en el refractómetro Cerrar la tapa y medir los grados Brix Asear el refractómetro	

Fuente: (NTC 5167, 2004, p. 7).

Realizado por: Mata, C., 2023.

Tabla 3-12: Determinación de pH

Determinación de pH	
Materiales y equipos	Sustancias y reactivos
Medidor de pH Balanza analítica Vaso de precipitación 250 ml Agitador	Melaza
Procedimiento	
Calibrar el medidor de pH. Pesar 10 ml de la muestra, colocar en el vaso de precipitación Medir el pH	

Fuente: (NTC 5167, 2004, p. 7).

Realizado por: Mata, C., 2023.

Los otros análisis de cenizas y humedad se los mandarían a un laboratorio externo certificado.

3.2.3. Requisitos de análisis fisicoquímicos y microbiológicos

3.2.3.1. Requisitos mínimos para abonos orgánicos

Tabla 3-13: Requisitos mínimos de acuerdo a la norma técnica colombiana NTC 5167

Análisis Fisicoquímicos			
Requisitos	Mínimo	Máximo	Método de Ensayo
pH	> 4 y < 9	-	NTC 5167
Humedad	-	30%	NTC 5167
Cenizas	-	60%	NTC 5167
Densidad	-	Máximo 0,6 g/mL	NTC 5167
% saturación	su propio peso	-	NTC 5167
Materia Orgánica	15%	-	NTC 5167
Carbono	-	-	NTC 5167
Nitrógeno	> al 1%	-	NTC 5167
Fosforo	> al 1%	-	NTC 5167
C/N	-	-	NTC 5167
Análisis microbiológicos			
Salmonella sp:	ausente en 25 g de producto final.		
Enterobacterias totales:	menos de 1000 UFC/g de producto final.		

Fuente: (NTC 5167, 2004, p. 7).

Realizado por: Mata, C., 2023.

3.2.3.2. Requisitos mínimos para la harina de hueso calcinado

Tabla 3-14: Requisitos mínimos según la norma técnica colombiana NTC 657 Alimento para animales. Harina de hueso

Análisis Físicoquímicos			
Requisitos	Mínimo	Máximo	Método de Ensayo
Ca	35%	-	NTC 302
Humedad	-	2%	NTC 508
Fósforo	16%	-	NTC 234
Nitrógeno	0	-	NTC 282
Grasas	-	2%	NTC 668
Relación P/Ca	1:2,2	-	-
Análisis microbiológicos			
Salmonella sp:	en 5 g de muestra negativo.		
Shigella	en 5 g de muestra negativo.		
Clostridium	en 5 g de muestra negativo.		

Fuente: (NTC 5167, 2004, p. 10).

Realizado por: Mata, C., 2023.

3.2.3.3. Requisitos mínimos para el suero de leche

Tabla 3-15: Requisitos mínimos según la NTE INEN 2594:2011

Análisis Físicoquímicos					
Requisitos	Suero de leche dulce		Suero de leche ácido		Método de ensayo
	Min.	Max.	Min.	Max.	
Lactosa, % (m/m)	--	5,0	--	4,3	AOAC 984.15
Proteína láctea, % (m/m)	0,8	--	0,8	--	NTE INEN 16
Grasa Láctea, % (m/m)	--	0,3	--	0,3	NTE INEN 12
pH	6,8	6,4	5,5	4,8	AOAC 984.15
Requisitos Microbiológicos					
Salmonella /25g	Ausente en 5 muestras				
Recuento de Escherichia coli ufc/g	En 5 muestras índice máximo permisible <10				
Detección de Listeria monocytogenes /25g	Ausente en 5 muestras				

Fuente: (INEN 2594, 2011, p. 3).

Realizado por: Mata, C., 2023.

3.2.3.4. Requisitos mínimos para la melaza

Tabla 3-16: Requisitos mínimos según la NTE INEN 1701

Análisis Físicoquímicos			
Requisitos	Mínimo	Máximo	Método de Ensayo
Grados Brix	77,5%	-	INEN 273
pH	5,5%	6,5%	NTC 508
Ceniza Sufaltadas	-	16,6%	INEN 273
Requisitos microbiológicos			
El producto debe estar libre de microorganismos patógenos; el recuento total de levaduras cosmófilas no deberá ser mayor de 100/g y el recuento total en placa no deberá ser mayor de 10 ⁵			

Fuente: (INEN 1701, 1989, p. 1).

Realizado por: Mata, C., 2023.

3.2.3.5. Requisitos máximos y mínimos para el biol final según la NTE INEN 211:98

Tabla 3-17: Tolerancia. Garantía mínima y máxima

Nutriente garantizado %	Tolerancia mínima y máxima		
	Nitrógeno Total N (+/-)	Fósforo Asimilable P₂O₅ (+/-)	Potasio Soluble K₂O (+/-)
4 ó menos	0,49	0,67	0,41
6	0,52	0,67	0,47
8	0,55	0,68	0,60
10	0,60	0,70	0,70
12	0,61	0,75	0,79
14	0,63	0,80	0,87
16	0,67	0,85	0,94
18	0,70	0,90	1,01
20	0,73	0,95	1,08
22	0,75	1,00	1,15
24	0,78	1,05	1,21
26	0,81	1,10	1,27
28	0,83	1,15	1,33
30	0,86	1,20	1,39
32 ó más	0,88	1,25	1,44

Fuente: (INEN 211:98, 2018, p. 2).

Realizado por: Mata, C., 2023.

3.2.3.6. *Requisitos máximos y mínimos de los macronutrientes secundarios y micronutrientes para el biol final según la NTE INEN 211:98.*

Tabla 3-18: Tolerancia de los macronutrientes secundarios y micronutrientes. Fertilizantes líquidos

Nutriente	Tolerancia mínima y máxima (+/-)
CaO	0,28 + 0,07 x G*
MgO	0,33 + 0,083 x G
S	0,20 + 0,050 x G
Mo	0,0001 + 0,30 x G
Cl, Cu, Fe, Mn, Na, Zn	0,005 + 0,10 x G
B	0,003 + 0,15 x G
* G = Es el grado garantizado en unidades de nutrientes.	

Fuente:(INEN 211:98, 2018, p. 3).

Realizado por: Mata, C., 2023.

3.3. Procedimiento a nivel de laboratorio

A continuación, se detalla la descripción del proceso para la obtención del fertilizante orgánico líquido.

3.3.1. Descripción del procedimiento

3.3.1.1. Elaboración de la ceniza o harina de hueso de res

Para utilizar los huesos de res antes de ser calcinados se realizó un tratamiento con H₂O₂ que permitió limpiar la carne y grasa existente, además del ácido acético que ayudo en la pérdida de grasa y elimina los olores que se expelen del hueso, para lo cual se utilizó los siguientes quipos y materiales a nivel de laboratorio:

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
- Tanque o recipiente de 20 litros con tapa
- Olla de cocción
- Colador de plástico
- Mufla
- Termómetro
- Secador de bandejas
- Mortero con pistilo
- Bisturí
- Pinzas de disección con dientes

Procedimiento

- Materia Prima

Se procedió en primer lugar a reducir el tamaño de los huesos en una cortadora propia de carne para luego ser llevada a limpieza, con ayuda de un bisturí y las pinzas sacar todos los restos de carne y cartílagos presentes en la muestra. Una vez los huesos estén lo más libre de restos de carne se procese a enjuagar con agua caliente para la eliminación de grasa y medula existentes en el interior del hueso.



Ilustración 3-1: Disminución de tamaño de los huesos

Realizado por: Mata, C., 2023.

- Maceración

El hueso previamente cortado y lavado se colocó en un recipiente hermético y se le añadieron 6 litros de H_2O_2 hasta cubrir completamente el hueso. Se cerró el tanque y se dejaron las muestras durante 24 horas.



Ilustración 3-2: Acción del H_2O_2 en las muestras de hueso

Realizado por: Mata, C., 2023.

- Cocción

Pasadas las 24 horas, se sacaron los huesos y se los lavaron con agua caliente. Luego son colocados en una olla con ácido acético y agua (en proporción 2:1). Los huesos se cuecen durante 2 horas a una temperatura de $90^{\circ}C$.



Ilustración 3-3: Cocción de los huesos

Realizado por: Mata, C., 2023.

- Lijado

Los huesos se enfriaron a temperatura ambiente y los restos que quedaron de carne blanda se eliminaron con un bisturí hasta estar completamente limpios. Se utilizó la lija de agua #80 para quitar el tejido restante del hueso para finalmente limpiarlo con agua caliente.



Ilustración 3-4: Lijado de los huesos

Realizado por: Mata, C., 2023.

- Secado

Colocamos los huesos en un secador de rejilla a una temperatura de 75 °C durante 48 horas para eliminar cualquier grasa presente en las muestras.



Ilustración 3-5: Secado de los huesos

Realizado por: Mata, C., 2023.

- **Calcinación**

Primero, los huesos fueron carbonizados en un horno fundidor a 400°C durante 3 horas, liberando en este proceso malos olores y quedando con un aspecto negro y quebradizo. Luego se colocó en una mufla a una temperatura de 700°C durante 4 horas hasta que se calcinaron por completo quedando los carbonos de los huesos de un color ahora blanco, señalándonos que el proceso de calcinación ha terminado.



Ilustración 3-6: Calcinación en mufla

Realizado por: Mata, C., 2023.

- **Trituración**

Se utilizó un mortero con pistilo para el proceso de triturado hasta quedar lo más polvo, ya que los huesos al estar calcinados presentan una dureza aproximada de 2 según la escala de Moh, ya que con la uña se lo podía rayar, lo que lo hace fácil de triturar.



Ilustración 3-7: Trituración en mortero

Realizado por: Mata, C., 2023.

- Tamizado

Se procedió a tamizar el hueso calcinado y triturado por un tamiz No.35 (500 μm) y No.80 (180 μm), para garantizar la absorción final del mismo en el suelo, al añadirlo al biofertilizante.



Ilustración 3-8: Tamizado de la muestra

Realizado por: Mata, C., 2023.

- Producto Resultante

Los datos obtenidos en la reducción del peso del hueso desde que ingreso la materia prima hasta que termino en el tamizaje de la muestra, se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 3-19: Pesos obtenidos en el proceso

Resultados	Peso en gramos
Hueso inicial	10 000 (10kg)
Tratamiento con H_2O_2	6067,5
Secado (48 h)	4517,5
Harina final	2258

Realizado por: Mata, C., 2023.

A continuación, se observa el flujograma del proceso descrito anteriormente:

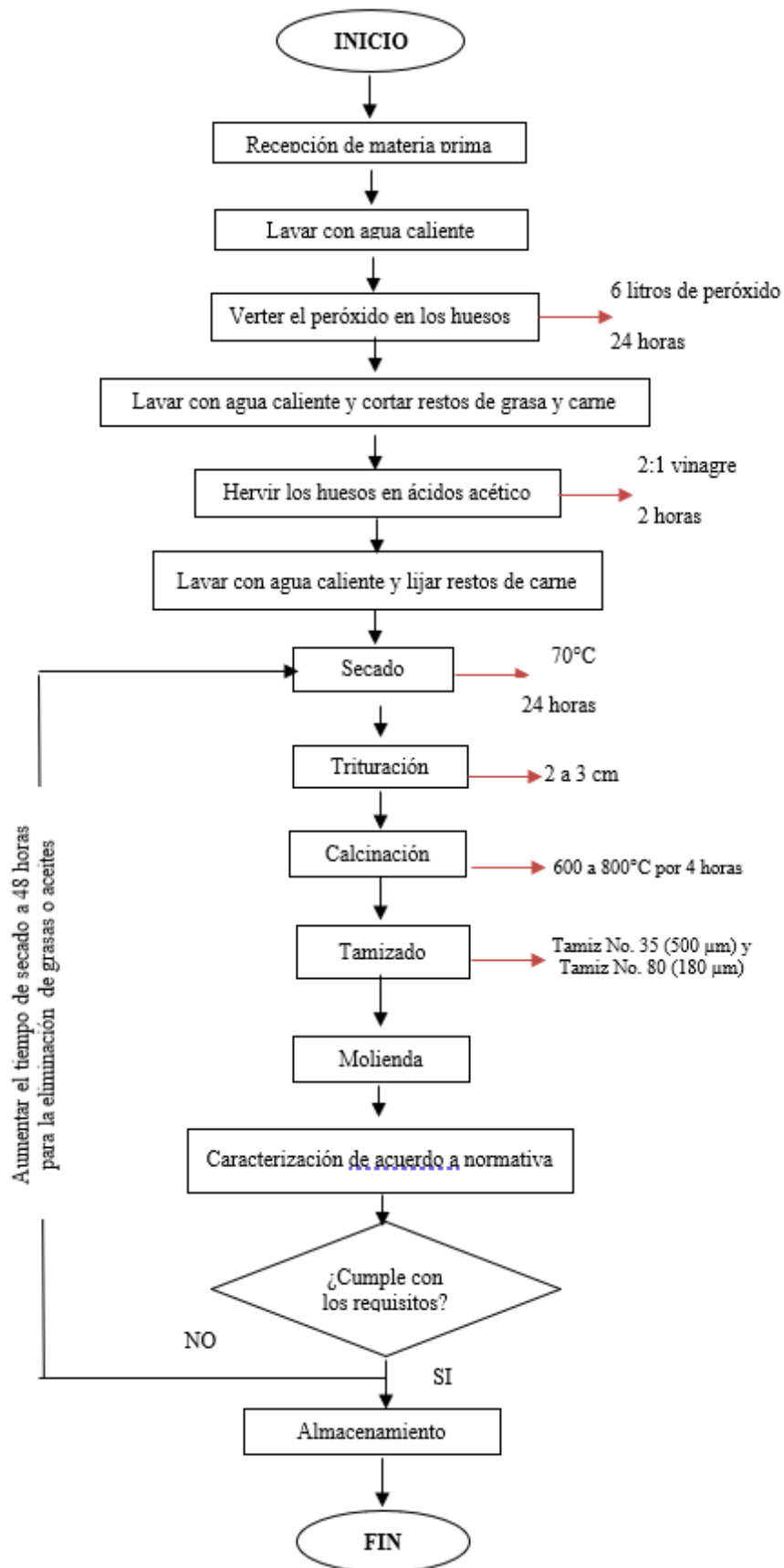


Ilustración 3-9: Diagrama de flujo para la obtención de harina de hueso

Realizado por: Mata, C., 2023.

3.3.1.2. Preparación del fertilizante líquido orgánico (Biol)

Sustancias y Reactivos:

- Pollinaza
- Suero de leche
- Melaza
- Levadura granulada o de pan
- Cenizas de hueso de res
- Agua

Equipos y Materiales:

- Jarra
- Balanza
- Tanque o recipiente de 20 litros con tapa
- Manguera de gas
- Silicona caliente
- Botellas plásticas de 1 litro
- Termómetro
- Recipiente
- Platico negro

Procedimiento

- Elaboración del biodigestor casero

Para dar lugar a la obtención del Biol se necesita del biodigestor, para lo cual se preparó el tanque con una desinfección con cloro y detergente para eliminar cualquier residuo anterior que pueda influir en nuestra fermentación, luego se lo secó y se procedió a abrir un agujero en la parte superior del tanque donde se insertó la manguera de gas que se conecta a una botella que está llena de agua hasta la mitad, ésta nos sirve como una pequeña trampa que durante el proceso de fermentación capta el CO₂, es decir, no permite que ingrese oxígeno pero sí ayuda a liberar los gases formados en el proceso.



Ilustración 3-10: Elaboración del biodigestor

Realizado por: Mata, C., 2023.

- Mezcla de la materia prima seca

Una vez que tengamos el biodigestor listo, colocamos dentro del tanque, la pollinaza y la ceniza de huesos y revolvemos hasta que se integre homogéneamente.



Ilustración 3-11: Mezclado de la materia prima seca

Realizado por: Mata, C., 2023.

- Preparación de la mezcla

Procedemos en una jarra a colocar el agua con la levadura y mezclarlo hasta que se disuelva bien, a continuación, colocamos la melaza y realizamos el mismo procedimiento, de igual manera con

el suero de leche. Una vez que lo tengamos disuelto todo se procede a añadir esta mezcla al tanque con la pollinaza y la ceniza de hueso previamente colocadas.



Ilustración 3-12: Mezcla de la materia prima líquida y levadura

Realizado por: Mata, C., 2023.

- Cierre

Verificamos si existiera alguna fuga en los tanques, y si lo fuera se procede a hacer un doble sellado ya que al ser la fermentación un proceso anaeróbico se necesita evitar la presencia de oxígeno en alguna fisura existente. La tapa se sella herméticamente y realizando presión, para asegurar un correcto funcionamiento del proceso en la elaboración del biol.



Ilustración 3-13: Sellado hermético

Realizado por: Mata, C., 2023.

- Fermentación

Al sellar ya el biodigestor casero, se procede a colocarlo en un invernadero ya que en estos días en la ciudad de Riobamba, Provincia de Chimborazo donde tiene lugar este proyecto, se han

registrado temperaturas bajas en el día y muy bajas por la noche, perjudicando nuestro proceso fermentativo ya que tiene que poseer una temperatura de 45°C, para ello también se recurrió a envolverlos en aserrín y plástico negro, para conservar su temperatura en la noche y ayudar a elevar su temperatura en la mañana. Se debe esperar 60 días sellado.



Ilustración 3-14: Aislamiento de temperatura

Realizado por: Mata, C., 2023.

- Producto final

Una vez transcurridos los 60 días, se procedió a abrir el tanque y a separar el líquido de los sólidos en la mezcla, para luego ser embotellado y llevado al laboratorio a analizar.



Ilustración 3-15: Embotellado

Realizado por: Mata, C., 2023.

A continuación, se observa el flujograma del proceso descrito anteriormente:

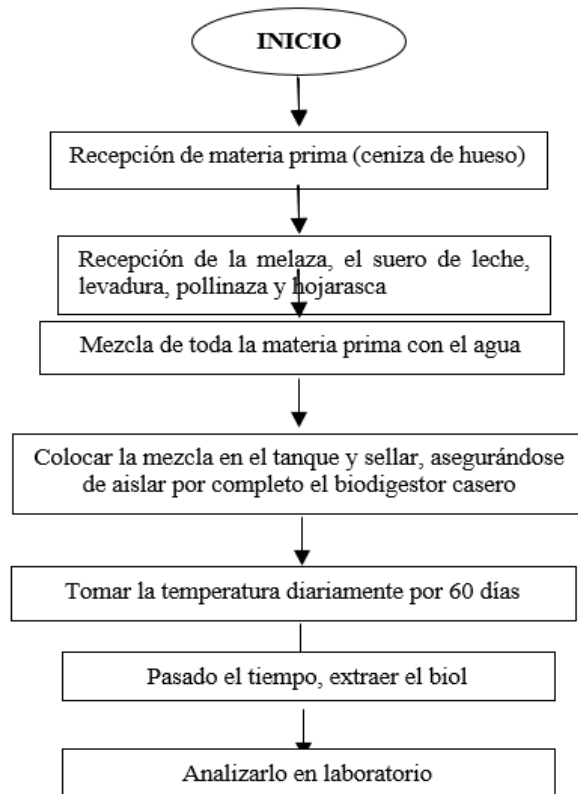


Ilustración 3-16: Diagrama de flujo para la obtención de harina de hueso

Realizado por: Mata, C., 2023.

3.3.2. Caracterización de la pollinaza (NP)

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.

3.3.2.1. Digestión de las muestras con H_2SO_4

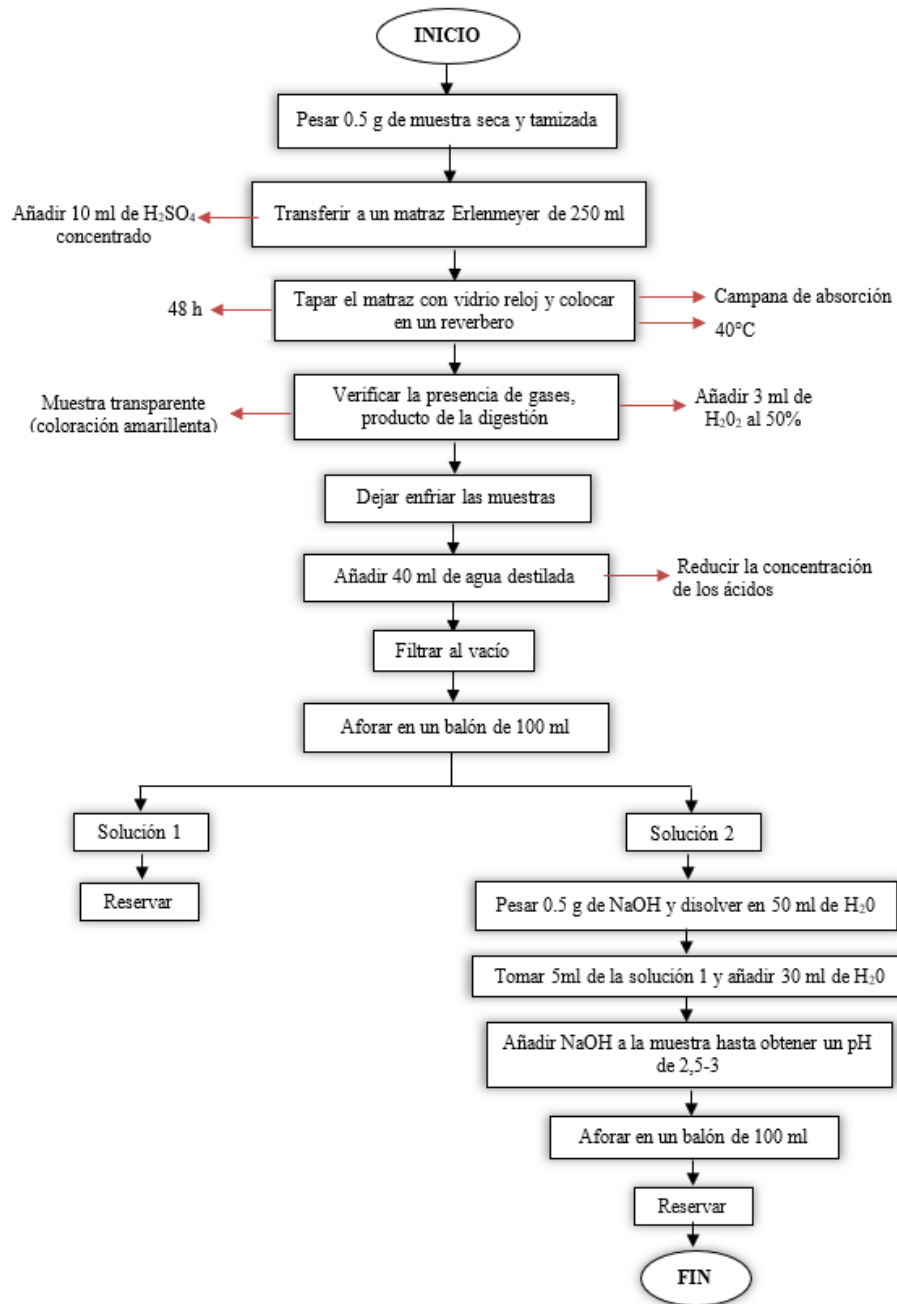


Ilustración 3-17: Diagrama de flujo para la caracterización de abonos orgánicos

Realizado por: Mata, C., 2023.

3.3.2.2. Determinación de Nitrógeno (N) total

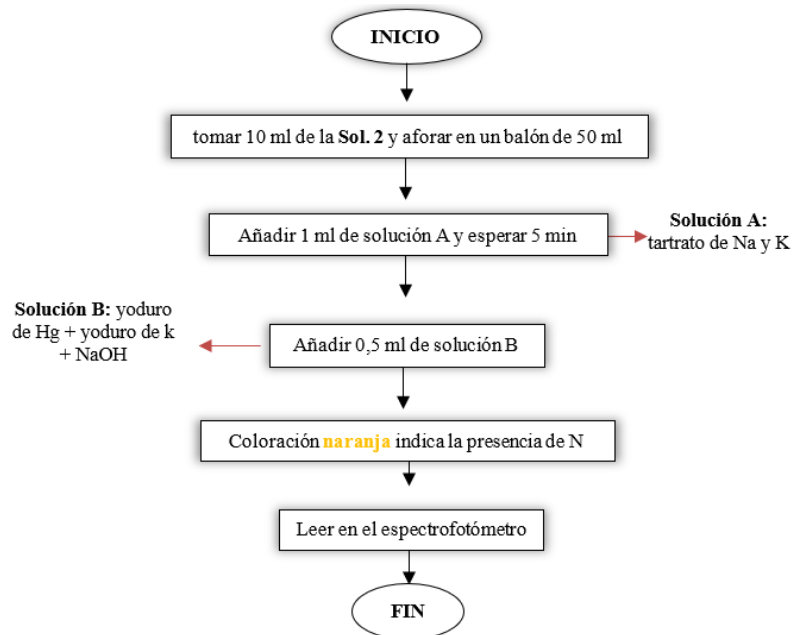


Ilustración 3-18: Diagrama de flujo para la determinación de N total

Realizado por: Mata, C., 2023.

3.3.2.3. Determinar de Fósforo (P) total

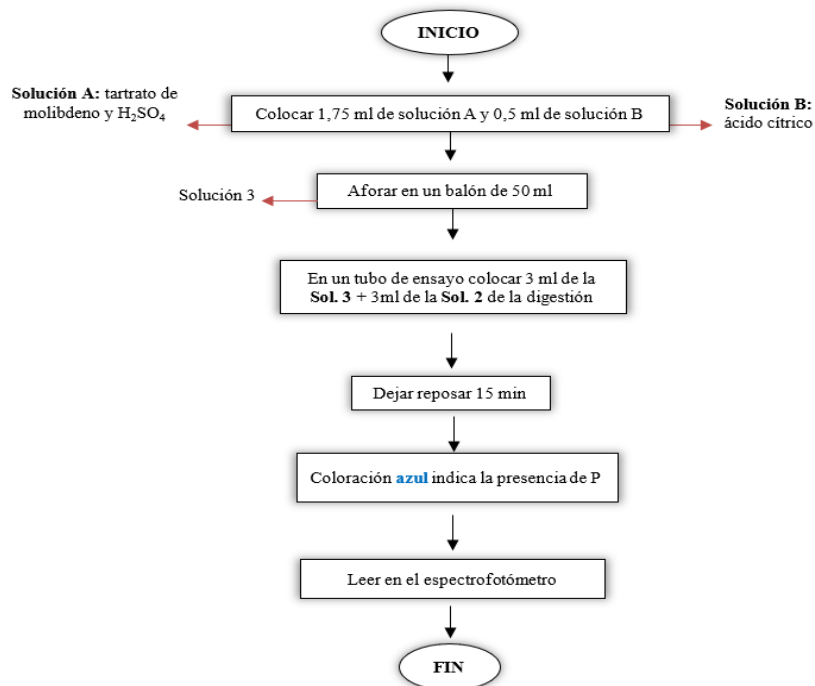


Ilustración 3-19: Diagrama de flujo para la determinación de P total

Realizado por: Mata, C., 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:

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

Ecuación 3-1: cálculo porcentual de N y P

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.

3.4. Procedimiento a nivel industrial

3.4.1. Variables del proceso

Son las condiciones físicas o químicas que intervienen en el proceso que se deben medir y controlar para su óptimo desarrollo y que para este proyecto técnico se tiene:

- **Temperatura:** Los microorganismos involucrados en los procesos de digestión biológica operan a temperaturas de entre 15 y 45 grados centígrados.
- **pH:** Este parámetro determina la inhibición o toxicidad de las bacterias metanogénicas y se presenta cuando está por debajo de 6,0. Por lo que el sustrato no debe ser ácido y el efluente dentro del biodigestor debe mantener un pH entre 6.5 y 7.5 ± 0.1
- **Tiempo de retención:** El tiempo de retención se define como el tiempo que la materia orgánica permanece en un sistema hasta su descomposición total. El tiempo de retención está directamente relacionado con la temperatura ambiente del y en condiciones óptimas de proceso a una temperatura de 30 °C el debería tener un tiempo de retención (Tr) de 20 días.

Sin embargo, algunos autores sugieren tiempos de retención correspondientes en biofermentadores para cada ambiente.

3.4.2. Operaciones y procesos unitarios que intervienen en el proceso

3.4.2.1. Operaciones unitarias

Son los cambios físicos que ocurren en los procesos de la industria química. Para este trabajo proyecto técnico se tiene:

- Trituración: 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.
- Molienda: Es la reducción del tamaño de partícula de una muestra, esta se la puede realizar por acción mecánica o manual donde se aplica una fuerza que minimiza el volumen del material al tamaño que se desee.
- Secado: Operación unitaria que extrae la humedad presente en una muestra, esta acción impide la presencia y proliferación de microorganismos dañinos, permite su conservación.
- Tamizado: Permite separa partículas de diferente tamaño, existen diferentes números de tamices, desde la rendija más separada para toma de muestras gruesas hasta tamices con rejilla fina para toma de muestras de partículas muy reducidas, según la necesidad de la experimentación que se va a realizar.

3.4.2.2. Procesos unitarios

Son los procesos que implican un cambio químico de los materiales a causa de las reacciones químicas que tiene lugar.

- Calcinación: La calcinación es el calentamiento de una sustancia a una temperatura alta para provocar la descomposición térmica o un cambio en la estructura física y química.
- Fermentación: Transformación que sufren algunas materias orgánicas a causa de encimas segregadas por microorganismos.

3.4.3. Cantidades a nivel industrial

Estos cálculos son utilizados para producir 1000 litros de biol por lote para lo cual partimos de los datos ya obtenidos a nivel laboratorio de la materia prima, que son los siguientes:

Tabla 3-20: Cantidad de materia prima en laboratorio

Materia Prima	Cantidad Requerida	
Pollinaza	3.5 kg	3.5 kg
Ceniza de Hueso	175 g	0,175 kg
Agua	13 L	13 L
Suero de Leche	35 ml	0,35 L
Levadura	15 g	0,015 kg
Hojarasca	50 g	0,05 kg
Melaza	35ml	0,35 L

Realizado por: Mata, C., 2023.

A continuación, realizamos una regla de tres para cada materia prima utilizadas para la elaboración del fertilizante:

- Pollinaza

$$\begin{array}{l} 3,5 \text{ kg} \longrightarrow 12 \text{ L} \\ x \longrightarrow 1000 \text{ L} \\ x = 291,66 \text{ kg} \end{array}$$

Si para obtener 12 litros de Biol yo necesito 3,5 Kg de pollinaza, entonces para producir 1000 litros de biol es necesario 166,67 Kg de pollinaza.

- Ceniza de Hueso

$$\begin{array}{l} 0,175 \text{ kg} \longrightarrow 12 \text{ L} \\ x \longrightarrow 1000 \text{ L} \\ x = 14,58 \text{ kg} \end{array}$$

Si para obtener 12 litros de Biol yo necesito 0,175 Kg de Ceniza de Hueso, entonces para producir 1000 litros de biol es necesario 14,58 Kg de Ceniza de Hueso.

- Agua

$$\begin{array}{l} 13 \text{ L} \longrightarrow 12 \text{ L} \\ x \longrightarrow 1000 \text{ L} \\ x = 1083,33 \text{ L} \end{array}$$

Si para obtener 12 litros de Biol yo necesito 13 litros de agua, entonces para producir 1000 litros de biol es necesario 1083 litros de agua.

- Suero de Leche

$$\begin{array}{rcl} 0,35 L & \longrightarrow & 12 L \\ x & \longrightarrow & 1000 L \\ & & x = 29,16 L \end{array}$$

Si para obtener 12 litros de Biol yo necesito 0,35 litros de suero de leche, entonces para producir 1000 litros de biol es necesario 29,16 litros de suero de leche.

Levadura

$$\begin{array}{rcl} 0,015 kg & \longrightarrow & 12 L \\ x & \longrightarrow & 1000 L \\ & & x = 1,25 kg \end{array}$$

Si para obtener 12 litros de Biol yo necesito 0,015 kg de levadura, entonces para producir 1000 litros de biol es necesario 1,25 de levadura.

- Hojarasca

$$\begin{array}{rcl} 0,05 kg & \longrightarrow & 12 L \\ x & \longrightarrow & 1000 L \\ & & x = 4,16 kg \end{array}$$

Si para obtener 12 litros de Biol yo necesito 0,05 kg de hojarasca, entonces para producir 1000 litros de biol es necesario 4,16 kg de hojarasca.

- Melaza

$$\begin{array}{rcl} 0,35 L & \longrightarrow & 12 L \\ x & \longrightarrow & 1000 L \\ & & x = 29,16 L \end{array}$$

Si para obtener 12 litros de Biol yo necesito 0,35 L de melaza, entonces para producir 1000 litros de biol es necesario 29,16 L de melaza.

Tabla 3-21: Cantidad de materia prima para el Biol

Materia Prima	Cantidad Requerida para 12 L de Biol	Cantidad Requerida para 1000 L de Biol
Pollinaza	3.5 kg	291,66 kg
Ceniza de Hueso	0,175 kg	14,58 kg
Agua	13 L	1083,33 L
Suero de Leche	0,35 L	29,16 L
Levadura	0,015 kg	1,25 kg
Hojarasca	0,05 kg	4,16 kg
Melaza	0,35 L	29,16 L

Realizado por: Mata, C., 2023.

Para la Cenizas de Hueso debemos calcular la materia prima en hueso con carne porque es la única de la demás materia primas que vamos a realizarla desde cero, para ello necesitamos saber la cantidad inicial para elaborar 14,58 Kg de ceniza de hueso que es lo requerido para obtener 1000 litros de biol final.

$$\begin{array}{l} 10 \text{ kg} \longrightarrow 2,258 \text{ kg} \\ x \longrightarrow 14,58 \text{ kg} \\ x = 64,57 \text{ kg} \end{array}$$

Si necesito 10 kg de materia prima para producir 2,258 kg de ceniza de hueso, entonces es necesario los 64,57 kg de hueso con carne de materia prima para producir los 14,58 kg de ceniza de hueso necesarios para obtener los 1000 litros de Biol final.

Tabla 3-21: Cantidad de producción

Por lote	Al mes (2lotes)	Al día
1000 litros biol	2000 litros biol	100 litros biol

Realizado por: Mata, C., 2023.

3.4.4. Balance de masa y de energía

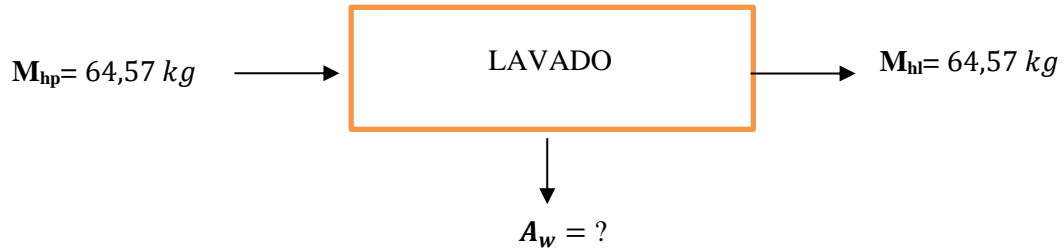
3.4.4.1. Balance de masa

- Balance de masa para la ceniza de hueso

De todas las materias primas utilizadas para la elaboración de Biol, solo la ceniza de hueso es realizada desde cero, teniendo que llevar los huesos obtenidos del deshuesadero (con impurezas,

sangre, grasa y restos de carne) a un pretratamiento de limpieza con peróxido de hidrógeno y ácido acético, para lo cual se necesita una cocción de 2 horas para este proceso.

- Lavado



Donde:

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

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

A_w = agua requerida en el lavado (lt)

- Cálculo de agua de lavado

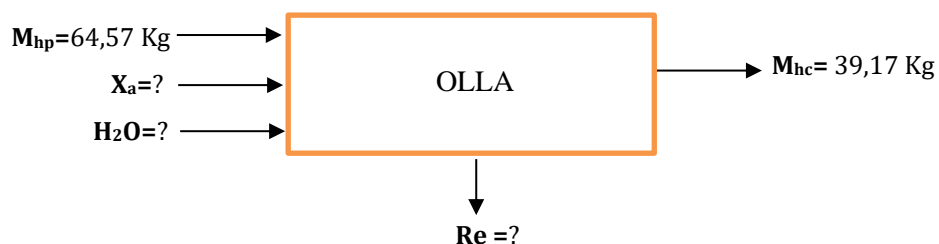
$$\begin{array}{rcl} 10 \text{ kg} & \longrightarrow & 5 \text{ lt} \\ 64,57 \text{ kg} & \longrightarrow & x \end{array}$$

$$x = 32,285 \text{ lt} * \frac{0,001 \text{ m}^3}{1 \text{ lt}} * 999,33 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$A_w = 32,26 \text{ kg}$$

Se mantiene un rendimiento de 100% en la etapa de lavado, ya que no se eliminan las grandes impurezas. El lavado se realiza para eliminar restos de sangre, tierra o suciedad de los mataderos o potreros donde se encontraban las reses. A continuación, los huesos prelavados pasan por un cortador de huesos industrial para reducir dimensiones y facilitar otros procesos, por lo que el balance de masa es el mismo en esta etapa porque no hay pérdida de material.

- Cocción



Donde:

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

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

X_a = ácido acético empleado (lt)

R_e = residuos de la cocción (kg)

H_2O = Agua empleada en la cocción (lt)

- Cálculo de ácido acético

$$\begin{array}{l} 10 \text{ kg} \longrightarrow 6,6 \text{ lt ácido acético} \\ 64,57 \text{ kg} \longrightarrow x \end{array}$$
$$x = 42,62 \text{ lt ácido} * \frac{1000 \text{ cm}^3}{1 \text{ lt}} * 1,06 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} * \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}}$$
$$X_a = 45,17 \text{ kg}$$

- Cálculo de agua

$$\begin{array}{l} 10 \text{ kg} \longrightarrow 3,3 \text{ lt agua} \\ 64,57 \text{ kg} \longrightarrow x \end{array}$$
$$x = 21,31 \text{ lt agua} * \frac{0,001 \text{ m}^3}{1 \text{ lt}} * 999,33 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$
$$H_2O = 21,29 \text{ kg}$$

Se utilizó una proporción 2:1, por cada dos partes de ácido una parte de agua.

- Cantidad de hueso cocido

$$\begin{array}{l} 10 \text{ kg} \longrightarrow 6,0675 \text{ kg} \\ 64,57 \text{ kg} \longrightarrow x \end{array}$$
$$x = 39,177 \text{ kg}$$

- Cantidad de residuos de hueso producto de la cocción

$Entrada = Salida$

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

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

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

$$64,57kg - 39,17 kg = R_e$$

$$R_e = 25,4 kg$$

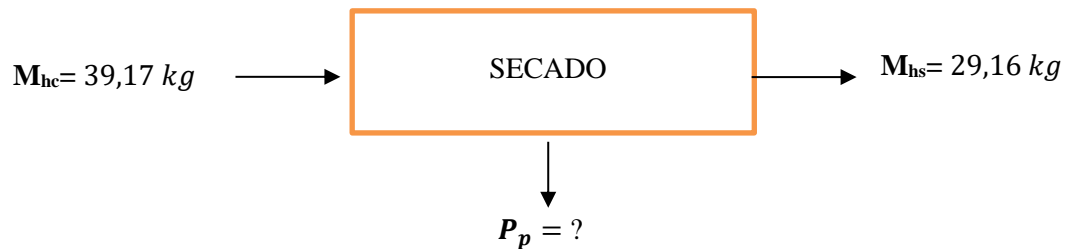
- Rendimiento del proceso de cocción

$$\%Rendimiento = \frac{M_{hc}}{M_{hp}} * 100$$

$$\%Rendimiento = \frac{39,17 kg}{64,57kg} * 100$$

$$\%Rendimiento = 60,66\%$$

- Secado



Donde:

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

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

P_p = pérdida de materia prima en el proceso (kg)

- Cálculo de la cantidad de masa después del secado

$$\begin{array}{l} 6,0675 kg \longrightarrow 4,5175 kg \\ 39,17 kg \longrightarrow x \\ x = 29,16 kg \end{array}$$

- Cálculo de la cantidad de pérdida de materia prima

$$Entrada = Salida$$

$$M_{hc} = M_{hs} + P_p$$

$$M_{hc} - M_{hs} = P_p$$

$$39,17 kg - 29,16 = P_p$$

$$10,01 kg = P_p$$

- Cálculo del rendimiento en el proceso de secado

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

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{29,16 \text{ kg}}{39,17 \text{ kg}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Rendimiento} = 74,44 \%$$

El proceso de secado se realizó a 75 °C durante 24 horas con un rendimiento de 74,44% ya que el hueso insertado contenía mucha humedad debido a la etapa de cocción que sufrió; se lo secó para reducir la humedad antes de entrar al proceso de calcinación, reduciendo también así la grasa contenida en los huesos.

- Calcinación



Donde:

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

M_c = masa de hueso calcinado (kg)

- Cálculo de la cantidad de masa de hueso calcinado

$$4,5175 \text{ kg} \longrightarrow 2,320 \text{ kg}$$

$$29,16 \text{ kg} \longrightarrow x$$

$$x = 14,975 \text{ kg}$$

- Cálculo del rendimiento en el proceso de calcinación

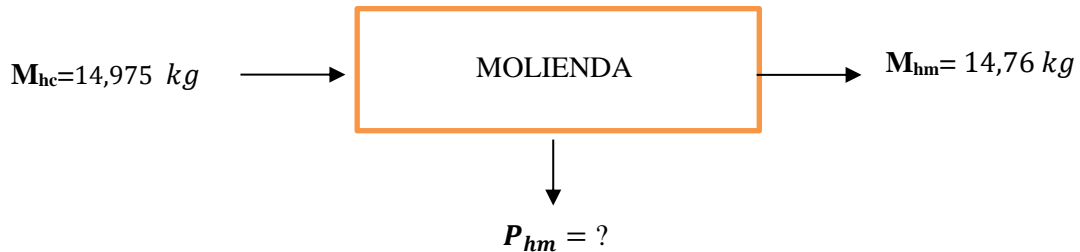
$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{\text{materia que sale}}{\text{materia que entra}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{14,975 \text{ kg}}{29,16 \text{ kg}} \times 100\%$$

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

Después de 3 horas de calcinado en mufla a 750°C, los huesos quedaron blanquecinos, muy livianos y fáciles de romper, demostrando una reducción de alrededor del 50% del aporte de materia prima.

- Molienda



Donde:

M_{hc} = masa de hueso calcinado (kg)

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

P_{hm} = pérdida de hueso molido (kg)

- Cálculo de la cantidad de masa molida

$$\begin{array}{ccc} 2,29 \text{ kg} & \longrightarrow & 2,258 \text{ kg} \\ 14,975 \text{ kg} & \longrightarrow & x \\ & & x = 14,76 \text{ kg} \end{array}$$

- Cálculo de la cantidad de pérdida de harina de hueso molida

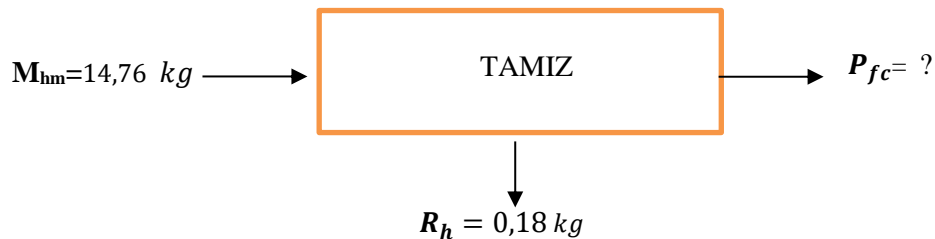
$$\begin{aligned} \text{Entrada} &= \text{Salida} \\ M_{hc} &= M_{hm} + P_{hm} \\ M_{hc} - M_{hm} &= P_{hm} \\ 14,975 \text{ kg} - 14,76 \text{ kg} &= P_{hm} \\ 0,215 \text{ kg} &= P \end{aligned}$$

- Cálculo del rendimiento en el proceso de molienda

$$\begin{aligned} \% \text{ Rendimiento} &= \frac{\text{materia que sale}}{\text{materia que entra}} \times 100\% \\ \% \text{ Rendimiento} &= \frac{14,76 \text{ kg}}{14,975 \text{ kg}} \times 100\% \\ \% \text{ Rendimiento} &= 98,56 \% \end{aligned}$$

Durante la molienda se registró una pérdida de 0,41kg, valor significativo a lo largo del proceso que puede ocurrir por el tipo de molienda utilizada, viento o residuos de material atrapados dentro de las paredes o máquina, factores que pueden ser corregidos manualmente y en adelante. Incluso con un rendimiento del 98, 59 % podríamos decir que tenemos valor alto que garantiza la eficiencia del proceso productivo.

- Tamizado



Donde:

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

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

R_h = residuos de hueso (kg)

- Cálculo de la cantidad de producto final obtenido

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

$$M_{hm} = P_{fc} + R$$

$$M_{hm} - R = P_{fc}$$

$$14,76 \text{ kg} - 0,18 \text{ kg} = P_{fc}$$

$$14,58 \text{ kg} = P_{fc}$$

- Cálculo del rendimiento en el proceso de tamizado

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

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{14,58 \text{ kg}}{14,76 \text{ kg}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Rendimiento} = 98,78 \%$$

Una vez que se complete el balance de masa, se obtendrá 14,58 kg de ceniza de hueso. Esta cantidad es diferente del valor obtenido anteriormente garantizando un rendimiento típico del proceso de 98,78 %. Esta es una tasa relativamente buena en la que la eficiencia garantiza los procesos industriales. En el valor de residuo de 0,215 kg recogidos en la etapa de molienda se consideró residuo en la etapa tamizado, la cual regresa de nuevo a la molienda, generándose una recirculación.

- Balance de masa para el Biol

En esta etapa del proceso se ingresa toda la materia prima seleccionada para la fermentación dentro del biodigestor. Para lo cual se presentan los valores correspondientes para cada uno, dejándolos en una misma unidad de masa en kilogramos, partiendo de los datos expuestos en la tabla 23-3, para obtener un biol final de 1000 litros.

a. Pollinaza (P)

$$P = 291,66 \text{ kg}$$

b. Agua (H₂O)

$$H_2O = 1083,33 \text{ litros} * \frac{0,001m^3}{1l} * \frac{997Kg}{m^3} = 1080,08 \text{ kg}$$

c. Suero de leche (S)

$$S = 29,16 \text{ litros} * \frac{1000 \text{ cm}^3}{1l} * \frac{1,019 \text{ g}}{\text{cm}^3} * \frac{1 \text{ Kg}}{1000g} = 29,71 \text{ kg}$$

d. Levadura (L)

$$L = 1,25 \text{ kg}$$

e. Hojarasca (H)

$$H = 54,16 \text{ kg}$$

f. Melaza (Me)

$$Me = 29,16 \text{ litros} * \frac{1000ml}{1l} * \frac{1,18g}{ml} * \frac{1Kg}{1000g} = 34,40 \text{ Kg}$$

g. Ceniza de Hueso (C)

$$C = 14,58 \text{ Kg}$$

h. Biol (B)

$$B = 1000 \text{ litros} * \frac{1,28 \text{ kg}}{L} = 1290 \text{ Kg}$$

- Mezclador



Donde:

M_P = Masa de la pollinaza (Kg)

M_{H_2O} = Masa del agua (Kg)

M_S = Masa del suero de leche (Kg)

M_L = Masa de la levadura (Kg)

M_H = Masa de la Hojarasca (Kg)

M_{Me} = Masa de la melaza (Kg)

M_C = Masa de la ceniza de hueso de res (Kg)

M_B = Masa de la mezcla de salida (Kg)

- Sumatoria total de las masas entrantes

$$M_E = M_P + M_{H_2O} + M_S + M_L + M_H + M_{Me} + M_C$$

$$M_E = 291,66 \text{ kg} + 1080,08 \text{ kg} + 29,71 \text{ kg} + 1,25 \text{ kg} + 4,16 \text{ kg} + 34,40 \text{ kg} + 14,58 \text{ kg}$$

$$M_E = 1458,84 \text{ Kg}$$

$$M_E = M_B$$

$$M_B = 1458,84 \text{ Kg}$$

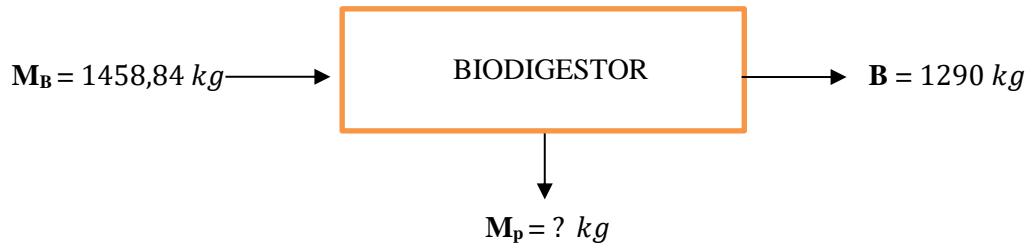
- Rendimiento del mezclador

$$\% \text{Rendimiento} = \frac{M_B}{M_E} * 100$$

$$\% \text{Rendimiento} = \frac{1458,84 \text{ kg}}{1458,84 \text{ kg}} * 100$$

$$\% \text{Rendimiento} = 100\%$$

- Biodigestor Campana Fija



Donde:

M_p = masa que se pierde en el proceso (kg)

M_E = Masa entrante (kg)

B = Masa del Biol (kg)

- Fracción que se pierde

$$\% = \frac{M_E - B}{M_E} * 100$$

$$\% = \frac{1458,84 \text{ Kg} - 1290 \text{ Kg}}{1458,84 \text{ Kg}} * 100$$

$$\% = 11,57$$

- Masa que se pierde en el proceso

$$M_{\text{pierde}} = M_E * \% / 100$$

$$M_{\text{pierde}} = 1458,84 * 11,57 / 100$$

$$M_{\text{pierde}} = 168,8 \text{ Kg}$$

- Rendimiento del biodigestor

$$\% \text{Rendimiento} = \frac{B}{M_E} * 100$$

$$\% \text{Rendimiento} = \frac{1290 \text{ kg}}{1458,84 \text{ kg}} * 100$$

$$\% \text{Rendimiento} = 88,42\%$$

3.4.4.2. Balance de masa general del proceso

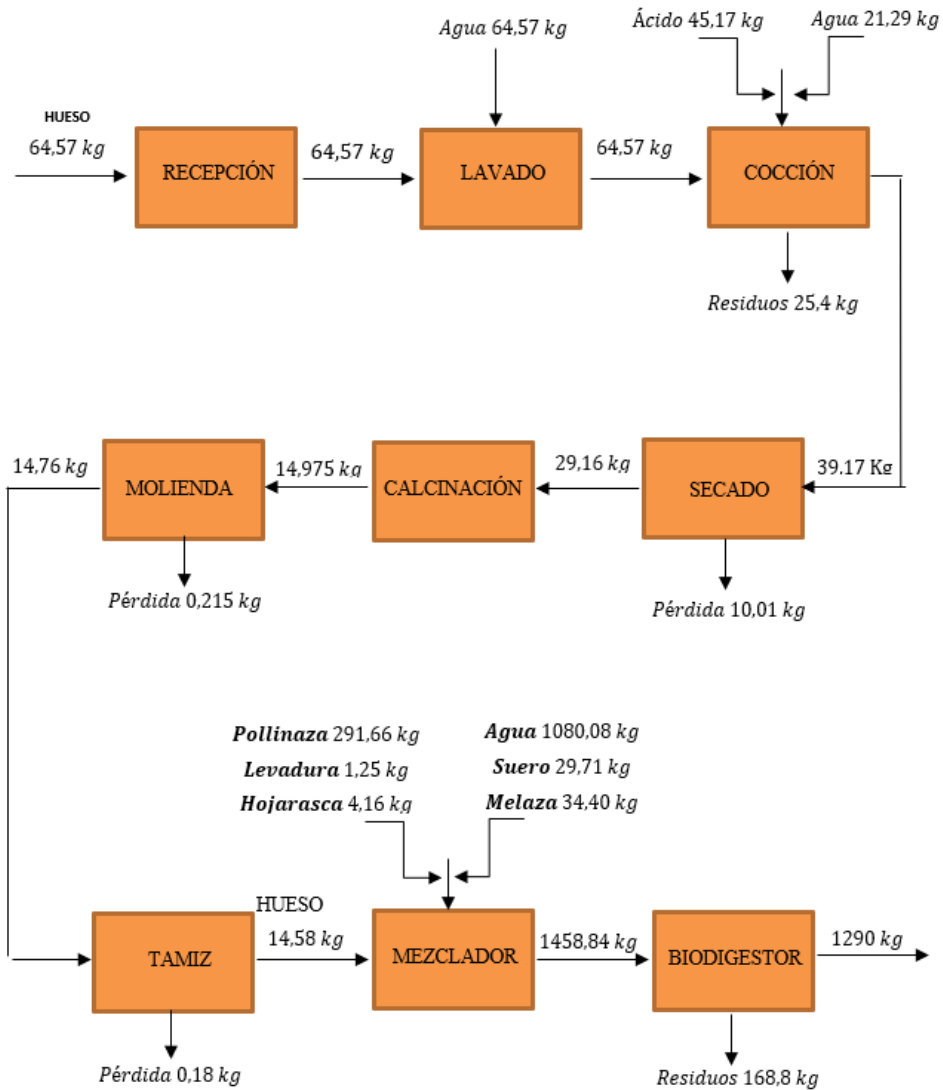


Ilustración 3-20: Balance de masa del proceso para elaborar el Biól

Realizado por: Mata, C., 2023.

3.4.4.3. Balance de energía

El balance de energía se refiere a la determinación de los fluidos involucrados en los procesos de producción, conversión y consumo final de energía en etapas donde el intercambio de calor es detectable. La producción del fertilizante orgánico líquido identifica tres operaciones en las que tiene lugar un intercambio de energía, las cuales son: el secado, cocción y horneado.

Secado

Para el secado de los huesos se utilizó un secador de bandejas a 75°C de temperatura durante 24 horas. Se calcula el balance energético total con la siguiente fórmula:

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

Δ_H = variación de la entalpía en J

Q = calor en J

W = trabajo en J

Calculamos el calor sensible del hueso empleando la siguiente fórmula:

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

Donde:

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

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

$$C_{sensible} = h_{2_{agua}} - h_{1_{agua}}$$
$$C_{sensible} = 314,03 \text{ kJ/kg} - 83,915 \text{ kJ/kg}$$
$$C_{sensible} = 230,115 \text{ kJ/kg}$$

- Cálculo del calor proporcionado por el secador

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

Donde:

Q_s = calor suministrado kJ/kg

$Q_{latente}$ = 2257 kJ/kg

$$Q_s = Q_{latente} + C_{sensible}$$
$$Q_s = 2257 \text{ kJ/kg} + 230,115 \text{ kJ/kg}$$
$$Q_s = 2487,115 \text{ kJ/kg}$$

- Cálculo del calor ganado por el hueso de res

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

Donde:

Q = calor ganado por el hueso en KJ

m_{hueso} = peso del hueso seco en kg

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

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

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

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

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

- Cálculo de la entalpia del hueso

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

Donde:

CP_h = $2,76 \frac{KJ}{kg \cdot ^\circ C}$ para huesos húmedos y $1,3 \frac{KJ}{kg \cdot ^\circ C}$ para huesos secos

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

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

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

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

- Cálculo del calor requerido para evaporar el agua en el secado

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

Donde:

m_{agua} = valor de agua evaporada en kg

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

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

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

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

- Calor total necesario en el proceso de secado:

$$\begin{aligned} Q_{total} &= Q_{agua} + Q \\ Q_{total} &= 3498,35 \text{ KJ} + 1002,243 \text{ KJ} \\ Q_{total} &= 4500,593 \text{ KJ} \end{aligned}$$

- Cocción

$$Q_{ganado} = Q_{perdido}$$

- 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:

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:

$h = 26 \text{ cm}$

$dm = 33 \text{ cm}$

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

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

- 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)

ΔT = 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:

- 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 $\frac{KJ}{kg \cdot ^\circ C}$

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

Datos necesarios:

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

CP_h = para huesos húmedos $2,76 \frac{KJ}{kg \cdot ^\circ C}$ y de huesos secos $1,3 \frac{KJ}{kg \cdot ^\circ C}$

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

$$Q_h = 0,167 \frac{kg}{s} \times 2,76 \frac{KJ}{kg \cdot ^\circ C} \times (90^\circ C - 22^\circ C)$$

$$Q_h = 31,34 KW$$

Reemplazamos datos en la ecuación 1 y tenemos:

- Cálculo del calor suministrado por la caldera

$$Q_h = Q_s + Q_p$$

$$Q_h - Q_p = Q_s$$

$$31,34 KW - 0,025 KW = Q_s$$

$$31,315 KW = Q_s$$

- Coeficiente global de transferencia de calor en el recipiente de cocción

$$Q_h = (U) \times (A) \times (\Delta T)$$

$$U = \frac{Q_h}{A \times \Delta T}$$

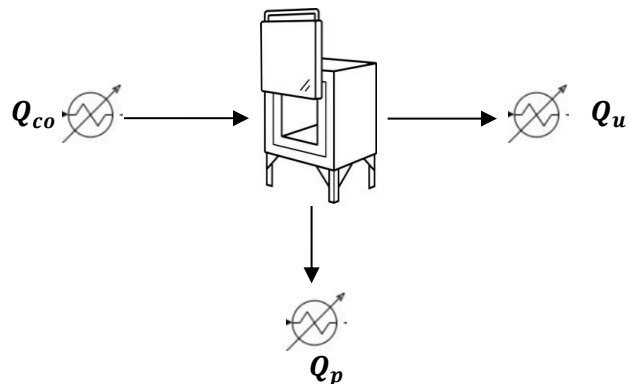
$$U = \frac{31,34 KW}{0,023 m^2 \times (90^\circ C - 22^\circ C)}$$

$$U = 20,038 \frac{KW}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

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.



$$Q_{co} = Q_u + Q_p$$

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:

- 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:

- 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:

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:

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

$$Q_1 = \frac{4,5175 \text{ kg} \times 1,3 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \times (750^\circ\text{C} - 22^\circ\text{C})}{3\text{h}}$$

$$Q_1 = 4275,362 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

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:

$$m = 4,5175 \text{ kg}$$

$$C_p = \text{huesos secos } 1,3 \text{ kcal/kg. } ^\circ\text{C}$$

$$t = 3 \text{ h}$$

Reemplazamos datos:

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

Cálculo de Q_3

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

Donde:

$$m = \text{peso de la carga (kg)}$$

$$C_p = \text{calor específico (kcal/kg. } ^\circ\text{C)}$$

$$T_f = \text{temperatura de colado } ^\circ\text{C}$$

$$T_o = \text{temperatura de fusión } ^\circ\text{C}$$

$$t = \text{tiempo de fusión (h)}$$

Datos necesarios:

$$m = 4,5175 \text{ kg}$$

$$C_p = \text{huesos secos } 1,3 \text{ kcal/kg. } ^\circ\text{C}$$

$$T_f = 800 \text{ } ^\circ\text{C}$$

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

$$t = 3 \text{ h}$$

Reemplazamos datos:

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

$$Q_3 = 293,6375 \frac{kcal}{h}$$

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.

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

$$Q_{carga\ metálica} = (4275,362 + 1,957 + 293,6375) \left(\frac{kcal}{h} \right)$$

$$Q_{carga\ metálica} = 4570,9565 \frac{kcal}{h}$$

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

Calor absorbido por el crisol

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

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:

$m = 0,012$ kg

$C_p = 0,31$ kcal/kg°C

$T_f = 750$ °C

$T_o = 22$ °C

$t = 3$ h

Reemplazamos datos:

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

$$Q_{absorve\ crisol} = \frac{(0,012\ kg) \times (0,31 \frac{kcal}{kg \cdot ^\circ C}) \times (750^\circ C - 22^\circ C)}{t}$$

$$Q_{\text{absorve crisol}} = 2,7081 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

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

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

$$Q_u = 4570,9565 \frac{\text{kcal}}{\text{h}} + 2,7081 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

$$Q_u = 4573,664 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

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

Después de establecer el balance de masa y energía requerido para cada etapa del proceso de producción de materia prima, se presenta un plano para producir 1000 litros de fertilizante líquido

3.5. Dimensionamiento de los equipos

3.5.1. Diseño de una mesa de limpieza y lavado para recepción de materia prima

La ergonomía del operario es una de las variables más importantes para tener en cuenta a la hora de diseñar mesas de recepción y elegir la materia prima. Otra variable importante es la cantidad de entrada de materia prima. En este caso, la mesa está diseñada para albergar 64,57 kg de hueso de res.

3.5.1.1. Cálculo del volumen de la mesa

$$V_m = L_{ms} * a_{ms} * h$$

Donde:

V_m = volumen de la mesa de recepción

L_{ms} = Longitud de mesa (1,0 m)

a_{ms} = ancho de mesa (0,50 m)

h = altura de cajas de selección (0,20m)

$$V_m = 1,0 \text{ m} \times 0,5 \text{ m} \times 0,20 \text{ m}$$

$$V_m = 0,1 \text{ m}^3$$

3.5.1.2. 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 es de 983 kg/m³

$$\begin{aligned}m &= \rho_{\text{hueso}} \times V \\m &= 983 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \times 0,1 \text{ m}^3 \\m &= 98,3 \text{ Kg}\end{aligned}$$

Para la Ceniza de hueso.

3.5.2. Diseño de un molino de martillos

3.5.2.1. Cálculo de la molturabilidad

Se refiere al total del producto por unidad de tiempo de molienda, se estima 24 kg/h atravesando una malla No. 35 (500 μm)

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

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 0,2 kg.

$$\begin{aligned}M_t &= \frac{0,2 \text{ kg}}{0,5 \text{ min}} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} \\M_t &= 24 \frac{\text{kg}}{\text{h}}\end{aligned}$$

3.5.2.2. 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.:

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

Donde:

m_m = masa de los martillos

F_c = fuerza de corte media del hueso

3 = factor de seguridad

α = aceleración angular

L = largo del martillo

Por bibliografía:

$L = 4,5 \text{ cm}$

$F_c = 28.29 \text{ N}$

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 3-21: Resultados de Fc

Fuente: (Fernandez, 2013, p.14)

Calculamos la aceleración angular con la siguiente ecuación:

$$\omega^2 = (\omega_0)^2 + 2\alpha \times (\theta)$$

Donde:

ω^2 es la velocidad angular, la cual por bibliografía para molinos de martillos la velocidad recomendada es de 2500-3500 rpm por lo que se ha escogido un factor de 3000 rpm, el cual está entre los límites permitidos.

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

$$(\omega_0)^2 = 0$$

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

Despejamos α y reemplazamos datos:

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

$$\alpha = \frac{(314,159 \text{ rad/s})^2}{2 \times 3,14 \text{ rad}}$$

$$\alpha = 15715,9 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$$

Reemplazamos datos para calcular la masa de los martillos:

$$m_m = \frac{28.29 \text{ N} \times 3}{15715,9 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2} \times 0,045 \text{ m}}$$

$$m_m = 0,12 \text{ kg}$$

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

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

Donde:

a = ancho del martillo

ρ = 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.

$$a = \frac{120 \text{ g}}{7,85 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \times 0,4 \text{ cm} \times 4,5 \text{ cm}}$$

$$a = 8,49 \text{ cm}$$

3.5.2.3. 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.

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

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)

El índice de trabajo de Bond para materiales secos es de 8,9 kWh/tn

$D_{pp} = 0,8 \text{ mm}$

$D_{pa} = 25 \text{ mm}$

$$E = 0,3162 \times 8,9 \text{ kWh/tn} \times \left(\frac{1}{\sqrt{0,8}} - \frac{1}{\sqrt{25}} \right)$$

$$E = 2,58 \text{ kWh/tn}$$

3.5.2.4. 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.

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

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 D_1 y D_2 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 del 700 rpm reduciendo la velocidad en un 4% según lo expresado por

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.

3.5.2.5. Cálculo de la potencia requerida para 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

$$P_{rm} = 24 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \times 2,58 \frac{\text{KWh}}{\text{tn}} \times 3$$

$$P_{rm} = 24 \frac{kg}{h} \times 2,58 \frac{kWh}{tn} \times \frac{1 tn}{1000 kg} \times \frac{1 HP}{0,746 KW}$$

$$P_{rm} = 0,083HP \times (3)$$

$$P_{rm} = 0,249 HP$$

3.5.2.6. 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:

$$P = T \times W$$

Donde:

P = potencia del molino

T = torque

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

$$T = F_c \times D_1$$

Donde:

F_c = fuerza de corte media del hueso establecida anteriormente (28.29 N)

D₁ = distancia del eje principal hasta la punta del martillo (0,13m)

$$T = 28,29 N \times 0,13m$$

$$T = 3,67 Nm$$

Con los datos obtenidos calculamos la potencia del molino

$$P = T \times W$$

$$P = 3,67 Nm \times 1560 rpm \times \frac{\pi}{30}$$

$$P = 599,54 Watts \times \frac{1 HP}{745,7 Watts}$$

$$P = 0,80 HP$$

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

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

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

$$P_m = 0,249 \text{ HP} + 0,80 \text{ HP}$$

$$P_m = 1,05 \text{ HP}$$

Por lo tanto, se seleccionará un motor de 1 HP para mayor seguridad.

3.5.2.7. 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 14,60 kg de hueso calcinado y la densidad es de 2.3 g/cm³ 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/m³

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

$$2300 \frac{kg}{m^3}$$

Por lo tanto, aproximamos a 24 kg estimados que sacamos para producirlos por hora, para los 14,70kg que son los requeridos para realizar la ceniza de hueso donde el volumen de la tolva corresponde a:

$$V_{tolva} = \frac{14,70 \text{ kg}}{2300 \text{ kg/m}^3}$$

$$V_{tolva} = 0,01 \text{ m}^3$$

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.

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

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

3.5.2.8. Cálculo del volumen de 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.

$$V_{armazón} = \frac{0,01 \text{ m}^3}{30 \%} \times 100$$

$$V_{armazón} = 0,03 \text{ m}^3$$

3.5.3. 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.

3.5.3.1. Cálculo de la capacidad del equipo tamizador

El tamizador está enfocado directamente en la separación de partículas gruesas y finas de la ceniza de hueso por tal motivo estará adecuada con un número de malla ideal para el paso de esta materia prima. En la propuesta de diseño se calculó que pasará por el tamiz 14,58 kg de ceniza de hueso por lote, produciendo para 3 meses de biol en una sola carga 6 lotes.

$$m = \frac{kg}{día} \times \frac{1 \text{ día}}{8 \text{ h}}$$

$$m = \frac{87,48 \text{ kg}}{día} \times \frac{1 \text{ día}}{8 \text{ h}}$$

$$m = 10,94 \frac{kg}{h}$$

La relación expresa la cantidad de materia que el equipo tamizador podrá procesar por hora, dando un valor de 10,94 kg/h tomando en consideración que un día de trabajo corresponde a 8 horas laborales.

3.5.3.2. Cálculo del volumen de carga del equipo tamizador

Utilizamos la fórmula de la densidad y despejamos el volumen.

$$V_c = \frac{m}{\rho}$$

Donde:

V_c = volumen de carga total del equipo

m = capacidad del tamizador

ρ = densidad de la ceniza de hueso (3,10 g/ml = 3100 kg/m³)

Reemplazamos datos:

$$V_c = \frac{87,48 \text{ kg}}{3100 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$$

$$V_c = 0,03 \text{ m}^3$$

3.5.3.3. 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

$$V_t = \frac{V_c}{3}$$

$$V_t = \frac{0,03 \text{ m}^3}{3}$$

$$V_t = 0,01 \text{ m}^3$$

- Área del tamiz

$$A = a \times L$$

Donde:

a = ancho del tamiz (0,5m)

L = largo del tamiz (0,36m)

Los valores de ancho y largo fueron estimados de acuerdo con un valor promedio para la fabricación de un tamiz vibratorio.

$$A = 0,5 \text{ m} \times 0,36 \text{ m}$$

$$A = 0,18 \text{ m}^2$$

Para el tamiz se ha seleccionado una malla N°35 correspondiente a 500 μm 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.

$$h = 0,05\text{m} + 0,05\text{m}(0,15)$$

$$h = 0,058 \text{ m}$$

3.5.2.4. Cálculo de la carga existente en la bandeja

La carga distribuida en la bandeja se calcula con la siguiente expresión:

$$q = \frac{m}{A}$$

Donde:

q = carga existente en la bandeja kg/m^2

m = capacidad del tamizador

A = área del tamiz

$$q = \frac{10,94 \text{ kg}}{0,18 \text{ m}^2}$$

$$q = 60,77 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

3.5.3.5. 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:

$D=50\text{mm}$; $d= 5\text{mm}$; $N_a=6$; $p= 10\text{mm}$; $G= 8050 \text{ kg}$

$$C_e = \frac{G \times d^4}{8 \times D^3 \times N_a}$$

Donde:

C_e = capacidad máxima de elasticidad kg/mm

G = módulo de cillazadura

d = diámetro del alambre

D = diámetro del resorte

N_a = número de espiras activas

Reemplazamos datos:

$$C_e = \frac{8050 \text{ kg} \times (5\text{mm})^4}{8 \times (50\text{mm})^3 \times 6}$$
$$C_e = 0,838 \frac{\text{kg}}{\text{mm}}$$

3.5.3.6. 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:

$$w = \frac{d}{D^2 \times N_a} \times \sqrt{\frac{G}{2P}}$$

P corresponde al peso de la carga que soportará el equipo (3 kg)

$$w = \frac{5mm}{(50mm)^2 \times 6} \times \sqrt{\frac{8050 kg}{2(10,94 kg)}}$$

$$w = 0.0064$$

3.5.3.7. 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

$$Fv = Amp \times 0,56 \times \left(\frac{Fpm}{1000}\right)^2 \times p$$

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 (3kg)

Reemplazamos datos:

$$Fv = 0,4 mm \times 0,56 \times \left(\frac{3600 rpm}{1000}\right)^2 \times 10,94 kg$$

$$Fv = 31,76 kg$$

3.5.3.8. 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:

Ps = 0,746 KW

Pe = 0,79 KW

Potencia = 1 HP

rpm = 3324

3.5.3.9. Cálculo de la eficiencia del motorreductor

$$\varepsilon = \frac{P_s}{P_e} \times 100$$

Donde:

ε = eficiencia del motorreductor (%)

P_s = potencia de salida (KW)

P_e = potencia de entrada (KW)

$$\varepsilon = \frac{0,746 \text{ KW}}{0,79 \text{ KW}} \times 100$$

$$\varepsilon = 94,43\%$$

3.5.4. 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 1000 litros.

3.5.4.1. Cálculo del volumen que ocupa el producto

La densidad del abono orgánico es de 673,2 kg/m³

$$\rho = \frac{m}{V_{\text{producto}}}$$

$$V_{\text{producto}} = \frac{m}{\rho}$$

$$V_{\text{producto}} = \frac{500 \text{ kg}}{673,2 \text{ kg/m}^3}$$

$$V_{\text{producto}} = 0,74 \text{ m}^3$$

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:

$$V_{\text{recipiente}} = 0,74 \text{ m}^3 \times \frac{100\%}{60\%}$$

$$V_{\text{recipiente}} = 1,23 \text{ m}^3$$

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

$$L = \frac{4 \times 1,23 \text{ m}^3}{\pi \times (0,965\text{m})^2}$$

$$L = 1,68 \text{ m}$$

3.5.4.2. 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.

$$500 \text{ kg} \times 1,2 = 600 \text{ kg.}$$

$$V_{\text{producto}} = \frac{m}{\rho}$$

$$V_{\text{producto}} = \frac{600 \text{ kg}}{673,2 \text{ kg/m}^3}$$

$$V_{\text{producto}} = 0,89 \text{ m}^3$$

3.5.4.3. Cálculo de la distribución del producto en el recipiente

Volumen de medio cilíndrico (V_{mc})

$$V_{mc} = \frac{\pi \times (d_1)^2}{8} \times L$$

Reemplazamos los datos ya obtenidos previamente:

$$V_{mc} = \frac{\pi \times (0,965m)^2}{8} \times 1,68 m$$

$$V_{mc} = 0,61 m^3$$

En la parte superior del cilindro puede quedar una parte del producto mezclado, por lo tanto:

$$V_{superior} = V_{producto} - V_{mc}$$

$$V_{superior} = 0,89 m^3 - 0,61 m^3$$

$$V_{superior} = 0,28 m^3$$

Con los datos obtenidos calculamos la altura del producto

$$V_{superior} = h \times d_1 \times L$$

$$h = \frac{V_{superior}}{d_1 \times L}$$

$$h = \frac{0,28 m^3}{0,965m \times 1,68 m}$$

$$h = 0,17 m$$

3.5.4.4. Cálculo del volumen sometido a la mezcla por las paletas

$$V_1 = \frac{\pi \times (d_1^2 - d_2^2)}{8} \times L$$

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.

$$V_1 = \frac{\pi \times (0,965m^2 - 0,2 m^2)}{8} \times 1,68 m$$

$$V_1 = 0,587 m^3$$

Seguidamente se calcula la porción de volumen que puede quedar en la parte superior que entra en contacto con la paleta.

$$V_2 = (d_1 - d_2) \times h \times L$$

$$V_2 = (0,965m - 0,2 m) \times 0,17 m \times 1,68 m$$

$$V_2 = 0,22 m^3$$

Calculamos el volumen total que estará sometido a la mezcla.

$$V_{mezcla} = V_1 + V_2$$

$$V_{mezcla} = 0,587 m^3 + 0,22 m^3$$

$$V_{mezcla} = 0,807 m^3$$

3.5.4.5. 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

ρ = densidad del abono orgánico

g = gravedad

$$W_{mezcla} = 0,807 m^3 \times 673,2 \frac{kg}{m^3} \times 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$W_{mezcla} = 5329,50 \frac{kg \cdot m}{s^2} \cong 5329,50 N$$

3.5.4.6. Cálculo de la potencia del motor para realizar la mezcla

$$Potencia = \frac{T \times n}{9550}$$

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:

$$T = W_{mezcla} \times \frac{d_1}{2}$$
$$T = 5329,50 \text{ N} \times \frac{0,965\text{m}}{2}$$
$$T = 2571,48 \text{ Nm}$$

Ahora reemplazamos datos para calcular la potencia del motor:

$$Potencia = \frac{2571,48 \text{ Nm} \times 60 \text{ rpm}}{9550}$$
$$Potencia = 16,15 \text{ KW} \times \frac{1 \text{ HP}}{0,7457 \text{ KW}}$$
$$Potencia = 21,66 \text{ HP}$$

3.5.4.7. 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° valores tomados por bibliografía de los cuales partiremos para los cálculos correspondientes:

$$Masa_{vol-paleta} = Volumen_{paleta} \times \rho_{abono}$$
$$Masa_{vol-paleta} = 0,093 \text{ m}^3 \times 673,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$
$$Masa_{vol-paleta} = 62,60 \text{ kg}$$

Calculamos la fuerza centrípeta en el producto generado por el movimiento de las paletas.

$$F_c = m_{vol-paleta} \times a_c$$

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:

$$a_c = \frac{V^2}{r} = \omega^2 \times r$$

Donde:

ω^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:

$$F_c = m_{vol-paleta} \times a_c \\ F_c = 62,60 kg \times 18,83 \frac{m}{s^2} \\ F_c = 1178,76 N$$

3.5.4.8. Cálculo del diámetro del tanque

$$V_c = \pi \times \left(\frac{D_t}{2}\right)^2 \times h$$

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, $0,5 \text{ m}^3$ y se establece una altura promedio de 1,5 m.

Despejamos D_t

$$V_c = \pi \times \frac{D_t^2}{4} \times h$$

$$D_t^2 = \frac{4 \times V_c}{\pi \times h}$$

$$D_t^2 = \frac{4 \times 0,5 \text{ m}^3}{\pi \times 1,5 \text{ m}}$$

$$D_t^2 = 0,42 \text{ m}^2$$

$$D_t = \sqrt{0,42}$$

$$D_t = 0,65 \text{ m}$$

3.5.5. Biodigestor

3.5.5.1. Estimación de la carga orgánica o biomasa

Representa la producción de estiércol con el resto de materia prima por carga, que se representa en la siguiente tabla.

Tabla 3-22: Carga de la biomasa

Materia Prima	Cantidad Requerida para 1000 L de Biol
Pollinaza	291,66 kg
Ceniza de Hueso	14,58 kg
Suero de Leche	29,71 kg
Levadura	1,25 kg
Hojarasca	4,16 kg
Melaza	34,40 kg
TOTAL	375.76 kg

Realizado por: Mata, C., 2023.

3.5.5.2. Estimación de la cantidad de mezcla de agua (Ma)

La cantidad de mezcla de agua se calcula a partir del contenido total de sólidos (st), la biomasa total se estima en un 16% de biomasa total por carga y la mezcla de agua se estima en 8% de sólidos totales. Los sólidos totales se definen como la suma de la aplicación diaria total de biomasa y el volumen de agua mezclada. Estos cálculos se muestran a continuación:

$$\text{Total de biomasa} = 0,16 * (\text{Total biomasa por carga})$$

$$\text{Total de biomasa} = 0,16 * 375,76 \text{ kg}$$

$$\text{Total de biomasa} = 60,12 \text{ kg}$$

$$\frac{\text{Total de biomasa}}{\text{Total biomasa por carga} + Ma} = \frac{8}{100}$$

$$\frac{60,12}{(375,76 + Ma)} = 0,08$$

$$Ma = 375,74 \text{ kg por carga} + 248,5$$

$$Ma = 624,24 \text{ kg}$$

3.5.5.3. Biomasa final

Es la suma de la biomasa por carga y la mezcla del agua

$$\text{Biomasa Final} = \text{Total biomasa por carga} + Ma$$

$$\text{Biomasa Final} = 375,76 \text{ kg} + 624,24 \text{ kg}$$

$$\text{Biomasa Final} = 1\,000 \text{ kg} * \frac{1\text{m}^3}{1000 \text{ kg}}$$

$$\text{Biomasa Final} = 1\text{m}^3$$

3.5.5.4. Tiempo de retención

Para estimar el volumen de diseño (Vd), necesitamos definir el tiempo de retención (Tr). El tiempo de retención se calcula a partir del tiempo de retención ideal sujeto a un factor de corrección que depende de la temperatura promedio de la ubicación del lugar a realizarse el biol. Esto se muestra en la ilustración 19-3 y sus medidas se muestran en la ilustración 19-3. El plazo ideal de retorno es de 60 días. El volumen necesario es la cantidad del volumen de biomasa concentrada que se puede almacenar durante el tiempo de retención.

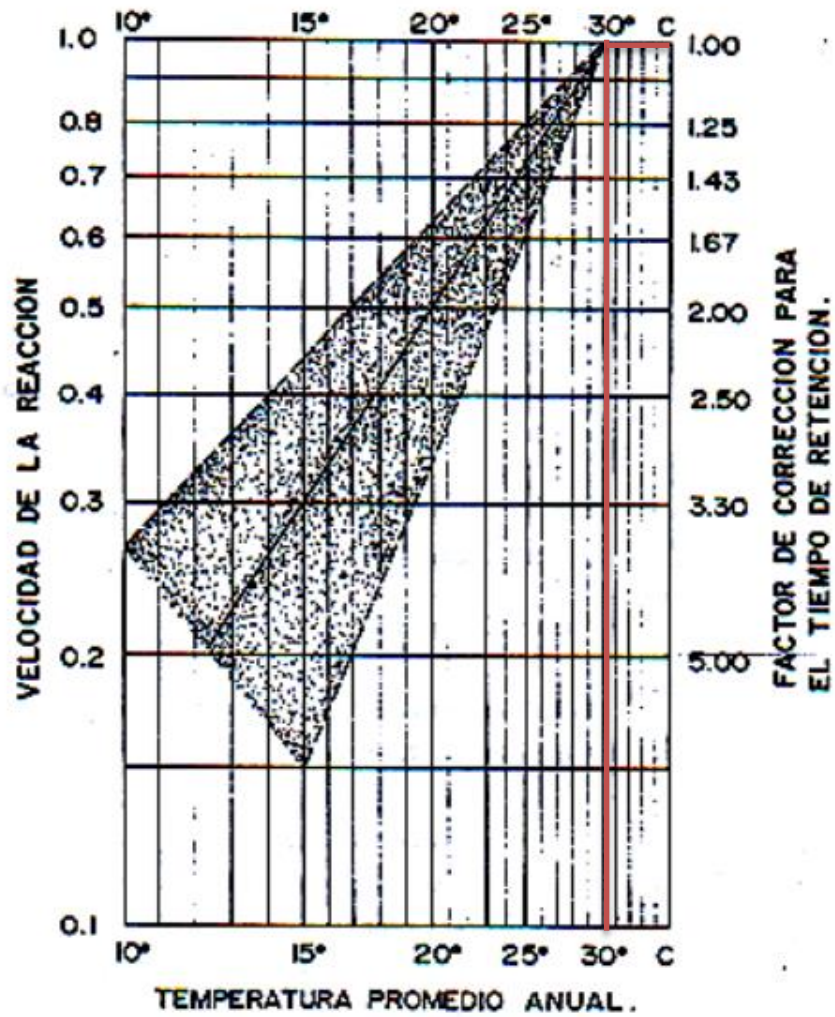


Ilustración 3-22: Lectura del factor de corrección para el tiempo de retención

Fuente: (Vargas, 1999).

Datos:

Capacidad máxima del biodigestor: 1000 litros

Tiempo de retención ideal: 60 días

Factor de corrección: 1.0 a 30°C

Tr: Tiempo de retención

$$Tr = 60 * \text{Factor de corrección}$$

$$Tr = 60 * 1,0$$

$$Tr = 60 \text{ Días}$$

3.5.5.5. Volumen del diseño

$$\text{Volumen necesario} = \text{Biomasa final} * Tr$$

$$\text{Volumen necesario} = 1m^3 * 60$$

$$\text{Volumen de diseño (Vd)} = 60m^3$$

3.5.6. Dimensionamiento del biodigestor

El dimensionamiento del biofermentador incluye el cálculo del volumen de compensación (V_c), el volumen de la cúpula o campana (V_e) y el volumen de almacenamiento de gas (V_g). La siguiente figura muestra las variables estimadas en estos cálculos:

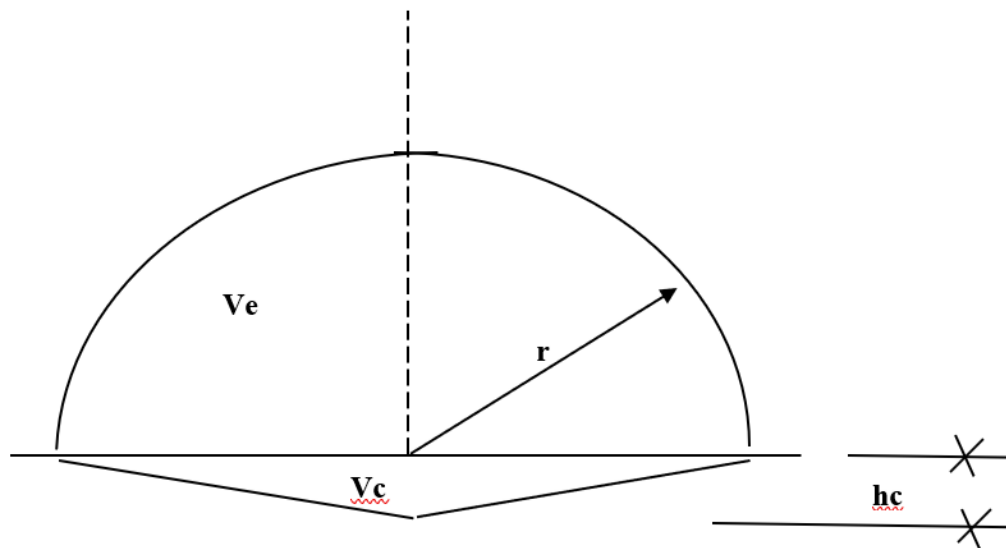


Ilustración 3-23: Lectura del factor de corrección para el tiempo de retención

Fuente: (Oyala y Gonzales 2009, p. 12).

Realizado por: Mata, C., 2023.

En la ilustración 20-3, “r” es el radio de la cúpula y h_c es la altura del volumen suplementario. La relación entre el volumen de la campana y el volumen complementario es de 10 a 1, y el volumen total del biofermentador es 4% adicional del volumen de diseño (teniendo en cuenta la ingeniería estructural para la construcción con ladrillos) espesor del repello que reviste el interior (también se recomienda enlucir o aislar la superficie exterior de las paredes del biofermentador para evitar el contacto con el suelo evitando la corrosión, la humedad y el deterioro estructural). Formulado de la siguiente manera:

$$\frac{V_e}{V_c} = \frac{10}{1} \quad (1)$$

$$V_e + V_c = 1,04V_d \quad (2)$$

De las ecuaciones (1) y (2), se tiene que:

$$V_c + 10V_c = 11V_c = 1,04V_d$$

$$11V_c = 1,04 * 11 = 11,44 m^3$$

$$V_c = \frac{11,44 m^3}{11} = 1,04$$

$$V_e = 11,44 - 1,04 = 10,4m^3$$

El valor de r se calcula de la siguiente manera

$$r = \sqrt[3]{\frac{3}{2\pi} V_e}$$

$$r = \sqrt[3]{\frac{3}{2\pi} 10,4} = 1,70m$$

El valor de hc se puede calcular de dos formas que se muestran a continuación:

(1) Forma

$$hc = \frac{r}{5}$$

$$hc = \frac{1,70}{5} = 0,34m$$

(2) Forma

$$V_c = \frac{1}{3} \pi r^2 hc$$

$$hc = \frac{3V_c}{\pi r^2}$$

$$hc = \frac{3 * 1,04}{\pi 1,70^2}$$

$$hc = 0,344m$$

Una vez definidos los valores de r y hc, en este caso r = 1.70 m, y hc = 0.34 m, se procede a comprobar el volumen del diseño con la formula (2).

$$Ve = \frac{2}{3}\pi r^3$$

$$Ve = \frac{2}{3}\pi 1,70^3$$

$$Ve = 10,29m^3$$

$$Vc = \frac{1}{3}\pi hc r^2$$

$$Vc = \frac{1}{3}\pi * 0,34 * 1,70^2$$

$$Vc = 1,06m^3$$

$$Ve + Vc = 1,04Vd$$

$$10,29 + 1,06 = 1,04Vd$$

$$11,35 m^3 = 1,04Vd$$

$$Vd = 10,91 m^3$$

Procedemos a realizar el cálculo del volumen del gas (Vg), donde se plantea la siguiente ecuación de acuerdo con la figura 3, donde tenemos que el valor de Vg está en m3 y los calores de h, a y b se encuentran en metros.

$$Vg = \frac{\pi h}{6}[3a^2 + 3b^2 + h^2]$$

Donde:

$$h = \frac{2r}{5} - \text{borde libre}$$

$$\text{borde libre} = 0,25m$$

$$a = \frac{4r}{5}$$

$$b = \frac{r}{2}$$

Reemplazando los valores se tiene:

$$h = \frac{2 * 1,70}{5} - 0,25$$
$$h = 0,43m$$

$$a = \frac{4 * 1,70}{5}$$
$$a = 1,36m$$

$$b = \frac{1,70}{2}$$
$$b = 0,85m$$

$$Vg = \frac{\pi 0,43}{6} [3(1,36)^2 + 3(0,85)^2 + (0,43)^2]$$

$$Vg = 1,78 m^3$$

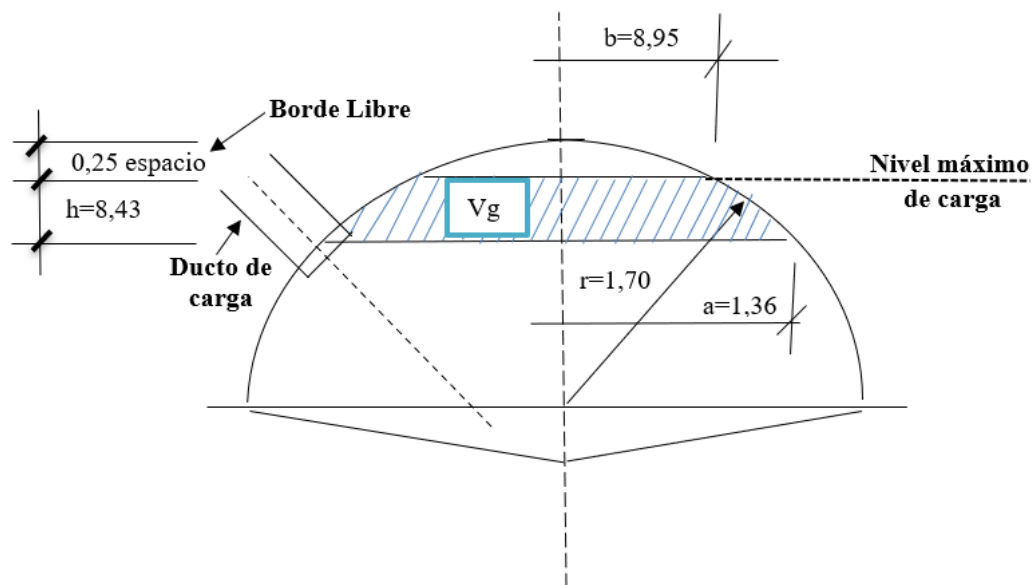


Ilustración 3-24: Lectura del factor de corrección para el tiempo de retención

Realizado por: Mata, C., 2023

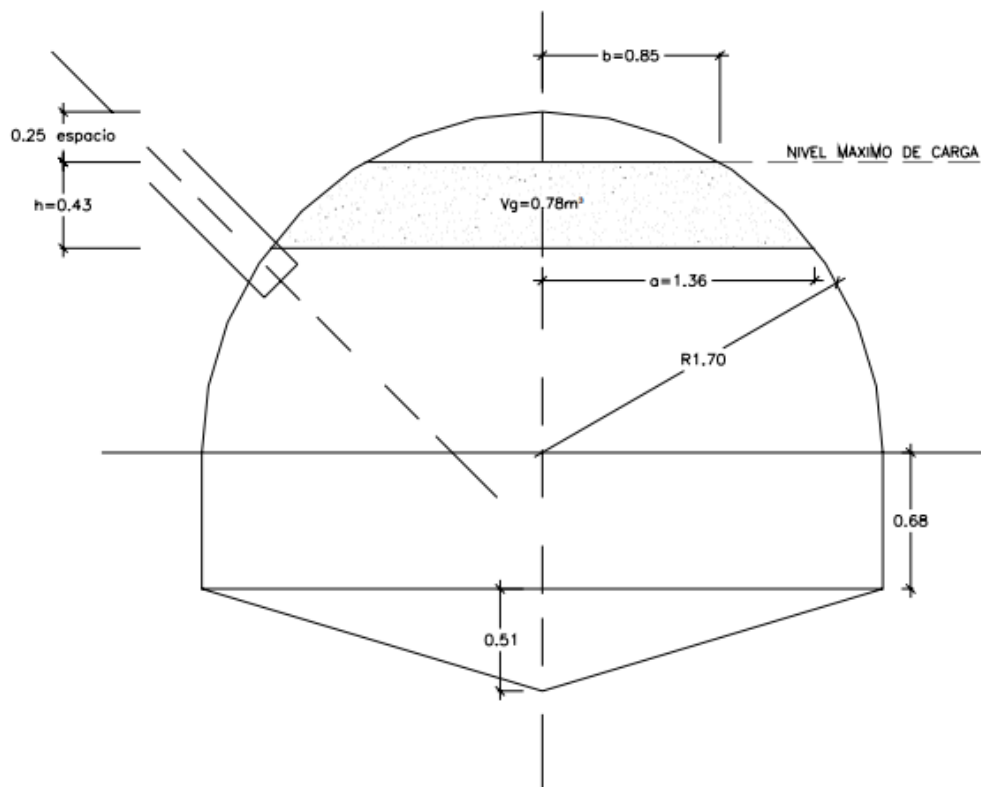


Ilustración 3-25: Diseño final del biodigestor

Realizado por: Mata, C., 2023

3.6. Análisis técnico económico del diseño de proceso

3.6.1. 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 3-23: Presupuesto de la inversión fija del proyecto

Equipo	Cantidad	Costo Unitario (\$)	Costo Total (\$)
Molino de martillos	1	1415,85	1415,85
Tamizador industrial	1	1505,5	1505,5
Mezclador	1	2650	2650
Marmita	1	1330	1330

Secador industrial de bandejas	1	3080	3080
Horno mufla industrial	1	6350	6350
Cortadora automática tipo guillotina	1	1800	1800
Mesa de recepción de materia prima	1	350	350
Biodigestor	4	1000	4000
Dosificador de líquidos	1	13850	13850
TOTAL			36331,35

Realizado por: Mata, C., 2023.

3.6.2. Proyección de gastos de producción

Tabla 3-24: Costos de materia prima e insumos

Materia prima e insumos	Cantidad	Unidad	Costo unitario (\$)	Costo lote (\$)	Costo mensual (\$)	Costo anual (\$)
Pollinaza	291,66	Kg	0,12	35,00	70,00	839,98
Huesos de res	14,58	kg	1,22	17,79	35,58	426,90
melaza	29,16	litros	0,9	26,24	52,49	629,86
Suero de leche	29,16	litros	0,01	0,29	0,58	7,00
levadura	1,25	kg	4,25	5,31	10,63	127,5
Botellas plásticas con logo	1000		0,25	250	500	6000
TOTAL				334,63	669,27	8031,24

Realizado por: Mata, C., 2023.

Tabla 3-25: Costos de mano de obra

Personal	Cantidad	Salario Mensual	Gasto Mensual	Gasto Anual
Técnico	1	600	600	7200
Operario	1	450	450	10800
Total			1050	12600

Realizado por: Mata, C., 2023.

Tabla 3-26: Costos de servicios básicos

Servicio	Consumo diario (\$)	Costo mensual (\$)	Costo Anual (\$)
Electricidad (KWh)	90	72	864
Agua Potable (m3)	20	66,24	794,88
Total	110	138,24	1658,88

Realizado por: Mata, C., 2023.

3.6.3. Capital de operaciones

Tabla 3-27: Capital de operaciones en la elaboración biofertilizante

GASTOS MENSUALES	
DETALLE	COSTO TOTAL
Gastos de materia prima	669,27
Costos de mano de obra	1050
Costo Servicios Básicos	138,24
TOTAL	1857,51
TOTAL, ANUAL	22290,12

Realizado por: Mata, C., 2023.

3.6.4. Inversión total

Tabla 3-28: Inversión total del proyecto

Denominación	Costo total (\$)	%
Inversión fija	36.331,35	61,98%
Capital de operaciones	22290,12	38,02%
TOTAL	58.621,47	100%

Realizado por: Mata, C., 2023.

3.6.4.1. Costo de producción anual

Tabla 3-29: Costo de producción del biol anual

Denominación	Costo total (\$)	%
Material directo (materia prima)	8.031,24	36,03%
Mano de obra	12.600	56,53%
Servicios básicos	1.658,88	7,44%
TOTAL	22.290,12	100%

Realizado por: Mata, C., 2023.

3.6.4.2. Cálculo del precio de venta al público

Para poder calcular el precio de venta unitario de un producto hacemos relación entre los costos de producción para su elaboración y el margen de ganancia que se quiere alcanzar. Esta relación se expresa a través de la siguiente ecuación:

$$PVP = Gasto Semanal \times (2,5) + Gasto Semanal$$

Donde:

PVP = precio de venta unitario al público

Gasto Semanal = corresponde a los gastos semanales en la elaboración del fertilizante

2,5 = índice del margen de ganancia, este valor se expresa a criterio propio considerando que un valor > 20% es relativamente bueno.

$$PVP = 1857,51 \times (2,5) + 1857,51$$

$$PVP = 6501,28 \$$$

Para conocer el precio por unidad realizamos una regla de 3 simple con las unidades estimadas de producción al mes.

$$\begin{array}{ccc} & \longrightarrow & \\ 6501,28 \$ & \longrightarrow & 2000 \text{ unidades} \\ x & & 1 \text{ unidad} \\ & & 3,25 \$ \end{array}$$

Tenemos un valor de 3,25\$ para las presentaciones de 1 litro y para presentaciones de 1 galón se estima un valor de 12,30 \$.

3.6.5. Puesta en marcha del proyecto

Tabla 3-30: Costos totales de 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	100 litros día	2,04	204,33	1021,63	4086,52	49038,26

Realizado por: Mata, C., 2023.

Al conocer los ingresos por ventas, determinamos las ganancias mensuales estimadas por la venta del fertilizante orgánico.

Ganancia Mensual = Venta Mensual – Inversión Mensual

$$Ganancia Mensual = 4086,52 \$ - 1857,51 \$$$

$$Ganancia Mensual = 2229,01 \$$$

3.6.6. Punto de equilibrio

El punto de equilibrio corresponde al punto donde los ingresos son iguales a los costos, a través del punto de equilibrio podemos saber a partir de qué volumen de ventas la empresa de fertilizantes empezará a obtener ganancias y saber si nuestro proyecto es factible. Para realizar el cálculo correspondiente aplicamos la siguiente fórmula:

$$PE = \frac{CFT}{1 - \frac{CVT}{VT}}$$

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.

$$PE = \frac{58621,47}{1 - \frac{22290,12}{49038,26}}$$

$$PE = 107\,472,69 \$$$

Margen de utilidad: 0,30

$$PE = 107\,472,69 \$ \times 0,30$$

$$PE = 32\,241,81 \$$$

Los resultados nos expresan que la empresa necesita vender *32 241,81 \$* para alcanzar el punto de equilibrio.

3.6.7. Utilidad neta

A través de la utilidad neta podemos conocer el beneficio económico de la empresa, para ello restamos de las ventas los costes de producción asociados a la obtención del producto. Se espera que el resultado neto sea proyectado a 5 años, para saber en qué tiempo se recuperará la principal inversión necesaria para implementar la empresa. En términos de costos, se prevé un ajuste del 2,5% y un crecimiento de las ventas del 3% en cada año. Este ajuste se realiza para evitar cambios en el mercado, aumentos de precios o competencia. Por lo tanto, las ventas proyectadas anuales se le multiplica el 2,5% (1,025) y los costos de las unidades vendidas el 3% (1,03).

Tabla 3-31: Utilidad neta en proyección de cinco años

Parámetro	Años Proyectados				
	2023	2024	2025	2026	2027
Ventas anuales	49.038,26	50264,21519	51520,82057	52808,84108	54129,06211
Costo de producción anual	22.290,12	22958,82113	23647,58576	24357,01333	25087,72373
Utilidad neta o flujo de caja	26.748,14	27.305,39	27.873,23	28.451,83	29.041,34

Realizado por: Mata, C., 2023.

La Tabla 3-31 nos muestra la utilidad neta de cada año proyectado, iniciando con un incremento de 557,25\$ entre el 2023 y 2024, terminando el 2027 un valor de 589,51 \$ de diferencia con el año anterior, los datos reflejan un promedio de 573,30 \$ de incremento monetario en cada año. Para conocer la viabilidad económica del proyecto implementamos estos valores en el cálculo del TIR Y VAN.

3.6.8. 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 32-3 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 3-32: Utilidad neta en proyección de cinco años

Inversión inicial		58.621,47 \$			
Año	Tiempo (n)	Flujo de caja	Interés	Ecuación	I
2023	0	26.748,14	10%	$I = \frac{F}{(1+i)^n}$	26748,14112
2024	1	27.305,39			24823,08551
2025	2	27.873,23			23035,73124
2026	3	28.451,83			28451,82775
2027	4	29.041,34			19835,62487
TOTAL			0,1	VAN	64.272,94

Realizado por: Mata, C., 2023.

Tenemos un VAN de 64.272,94\$ esto quiere decir que se recupera la inversión inicial para la tasa que se está considerando del 10% y se tiene un excedente de 64.272,94\$, el proyecto está agregando valor.

3.6.9. 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.

3.6.9.1. 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 3-33: Cálculo del TIR

Inversión Inicial	-58.621,47
Flujo de caja	26.748,14
	27.305,39
	27.873,23
	28.451,83
	29.041,34
=TIR (valores; [estimar])	

Realizado por: Mata, C., 2023.

Con los valores establecidos obtenemos un TIR de 37%, valor mayor a la tasa de interés de 10% por lo tanto el proyecto es factible de realizar.

3.6.9.2. Comprobación del TIR

Tabla 3-34: Utilidad neta en proyección de cinco años

Inversión inicial		35.036,37 \$			
Año	Tiempo (n)	Flujo de caja	Interés	Ecuación	I
2023	0	26.748,14	37%	$I = \frac{F}{(1+i)^n}$	26748,14
2024	1	27.305,39			27305,39
2025	2	27.873,23			27873,23
2026	3	28.451,83			28451,83
2027	4	29.041,34			29041,34
TOTAL			0,37	TIR	139.419,94

Realizado por: Mata, C., 2023.

3.6.10. Periodo 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 3-35: Flujo acumulado del TIR

Periodo (años proyectados)	Flujo de caja (I)	Flujo acumulado
0	-58.621,47	-58.621,47
1	26748,14112	-31.873,33
2	24823,08551	-7.050,24
3	23035,73124	15.985,49
4	28451,82775	44.437,32
5	19835,62487	64.272,94

Realizado por: Mata, C., 2023.

La tabla 35-3 muestra el flujo neto acumulado del proyecto durante un periodo proyectado a 5 años, este valor se calcula en base al VAN de la inversión con una tasa de descuento del 10%, el periodo 0 con un valor de – \$58.621,47 es el valor inicial. para la inversión del proyecto, cada corriente (I) se suma al valor del año siguiente, dando un flujo acumulado en el quinto año de \$64.272,94. Con estos valores calculamos el periodo de recuperación (PDR) en la siguiente ecuación:

$$PDR = \text{último periodo acumulativo negativo} + \frac{|\text{último flujo acumulado negativo}|}{\text{flujo de caja del año siguiente}}$$

$$PDR = 2 + \frac{|- 7.050,24|}{23035,73}$$

$$PDR = 1,69$$

1,12 equivale a años, es decir que al término de un año 8 meses la inversión inicial de 35.036,37 \$ se recupera, es decir, su implementación y la producción.

3.6.11. Beneficio/costo del proyecto

$$BC = \frac{BENEFICIO}{COSTO}$$

$$BC = \frac{64\ 272,94}{139\ 419,94}$$

$$BC = 0,46$$

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 0,46 \$, es decir, que aproximadamente un 2% es de beneficio.

CAPÍTULO IV

4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Análisis de los materiales de partida

4.1.1. Caracterización de la ceniza de hueso

La ceniza de hueso se caracterizó bajo la Norma Técnica Colombiana NTC 5167 la cual establece los siguientes parámetros.

Tabla 4-1: 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: Mata, C., 2023.

Los valores mostrados en la tabla 1-4 demuestra que los resultados obtenidos en la caracterización de las cenizas de hueso cumplen con los requisitos establecidos por la normativa por la cual se declara el certificado de fabricación de fertilizante. El pH alcalino se debe a la presencia de carbonatos y óxidos en pequeñas cantidades.

4.1.2. Caracterización de la pollinaza

La pollinaza es la materia prima que más aporta nitrógeno en el fertilizante orgánico líquido, pero no se encuentra ninguna norma para su caracterización, lo que si se ha hallado son estudios donde estudian su composición y estos nos son de base comparativa para el análisis de la calidad de pollinaza utilizada en la elaboración de nuestro biol. Como se puede observar en la tabla 3-4 según (Trujillo et al. 2019, p. 6) nos expresa los porcentajes carbono, nitrógeno, ceniza, humedad y finalmente su pH.

Tabla 4-2: Análisis elemental de los residuos avícolas

Biomasa	C (%)	N (%)	C/N	Ceniza (%)	Humedad (%)	pH
Pollinaza (PO)	24,53	2,48	9,89	25,19	18,84	8,74

Fuente: (Trujillo et al. 2019, p. 6).

Realizado por: Mata, C., 2023.

Y en la siguiente tabla se observan los datos recolectados realizados en el laboratorio, de la pollinaza recolectada para el estudio.

Tabla 4-3: Resultado del análisis elemental de la pollinaza

Biomasa	C (%)	N (%)	C/N	Ceniza (%)	Humedad (%)	pH
Pollinaza	24,38	2,59	9,41	25,20	18,71	8,82

Realizado por: Mata, C., 2023.

En la tabla del análisis elemental de la pollinaza se puede observar que, comparado con los porcentajes de carbono y nitrógeno, además del resto, de la tabla... todos los resultados varían solo por décimas, asegurándonos la calidad del producto como materia prima a utilizar en la producción del Biol.

Ahora bien, continuamos con la caracterización química de la pollinaza de los micro y macronutrientes según lo descrito por (Trujillo et al. 2019, p. 7).

Tabla 4-4: Caracterización química (pollinaza)

Biomasa	Pollinaza (PO)
N (g/100 g)	2,48
P (mg/kg)	12882,65
K (mg/kg)	12470,29
Na (mg/kg)	7208,20
Ca(mg/kg)	27217,44
Cu (mg/kg)	42,82
Fe (mg/kg)	1770,82
Mg (mg/kg)	30040,69
Mn (mg/kg)	364,56
Zn (mg/kg)	380,38

Fuente: (Trujillo et al. 2019, p. 7).

Realizado por: Mata, C., 2023.

Como se puede observar en la tabla 4-4, el contenido de macronutrientes (P, K, Na, Ca y Mg) de la pollinaza muestra valores altos, en comparación a la tabla con los valores obtenidos en laboratorio de la pollinaza que se presentan a continuación:

Tabla 4-5: Resultados de la caracterización

Biomasa	Pollinaza (PO)
N (g/100 g)	3,51
P (mg/kg)	10412,22
K (mg/kg)	9170,54
Na (mg/kg)	7000,55
Ca(mg/kg)	21013,84
Cu (mg/kg)	40,72
Fe (mg/kg)	1770,82
Mg (mg/kg)	29021,72
Mn (mg/kg)	264,56
Zn (mg/kg)	330,38

Fuente: (Trujillo et al. 2019, p. 7).

Realizado por: Mata, C., 2023.

Como se observa el contenido de nitrógeno es superior en la pollinaza utilizada para el estudio de este proyecto técnico que el mostrado en bibliografía y esto es un beneficio ya que mientras más porcentaje de nitrógeno tenga, mejor será la composición del Biol final que se obtenga.

4.1.3. Caracterización de la melaza

Según la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1701 “ALIMENTOS ZOOTECNICOS. MELAZA. REQUISITOS” se tienen los siguientes parámetros:

Tabla 4-6: Requisitos físicos y químicos de la melaza

REQUISITOS	UNIDAD	MIN.	MAX.	Método de ensayo
Azúcares totales, como reductores	% (m/m)	46,0	-	NEN 1 707
Cenizas sulfatadas	% (m/m)	-	16,0	NEN 272
Grados Brix refractométrico a 20	% (m/m)	77,5	-	NEN 273

Fuente: (INEN 1701 1989, p. 1).

Realizado por: Mata, C., 2023.

Para los cuales como resultados tenemos:

Tabla 4-7: Resultados de los análisis físicos y químicos de la melaza

REQUISITOS	UNIDAD	VALOR
Azúcares totales, como reductores	% (m/m)	46,1
Cenizas sulfatadas	% (m/m)	11,33
Grados Brix refractométrico a 20	% (m/m)	78,62

Realizado por: Mata, C., 2023

Tenemos como resultado que los análisis realizados entran dentro del rango establecido por la norma, siendo aceptado para utilizarlo como materia prima para la elaboración del fertilizante líquido orgánico.

4.1.4. Caracterización del suero de leche

Para la caracterización del suero de leche bajo la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2594:2011 “Suero de Leche Líquido, Requisitos” se aplica para uso de la industria alimenticia, farmacéutica y cosmética, pero no se nombra nada acerca de productos o insumos agrícolas, y en bibliografía no se especifica ni un valor comparable para poder caracterizarla, por lo que se optó por tomar solo de esta norma el pH, grasa, proteína que son fundamentales para la fermentación de éste compuesto orgánico y los requisitos microbiológicos que son indispensable para que no haya ningún tipo de riesgo biológico al momento de utilizarla para el producto resultante.

Tabla 4-8: Requisitos fisicoquímicos del suero de leche líquido

Requisitos	Suero de leche dulce		Suero de leche ácido		Resultados	Método de ensayo
	Min.	Max.	Min.	Max.		
Proteína láctea% (m/m)	0,8	---	0,8	---	1,1	AOAC 984.15
Grasa láctea% (m/m)	---	0,3	---	0,3	0,1	NTE INEN 12
pH	6,8	6,4	4,8	5,5	5,4	AOAC 973.41

Fuente: (INEN 2594 2011, p. 2)

Realizado por: Mata, C., 2023

Tabla 4-9: Requisitos microbiológicos para el suero de leche líquido

Requisitos	n	m	M	c	Método de ensayo
Recuerdos de microorganismos aerobios mesófilos ufc/g	5	30 000	100 000	1	NTE INEN 1529-5
Recuento de Escherichia coli ufc/g	5	<10	-	0	NTE INEN 1529-8
Staphylococcus aureus ufc/g	5	<100	100	1	NTE INEN 1529-14
Salmonella /25g	5	Ausencia	-	0	NTE INEN 1529-15

Fuente:(INEN 2594 2011, p. 2)

Realizado por: Mata, C., 2023

Donde:

n: Número de muestras a examinar.

m: índice máximo permisible para identificar nivel de buena calidad.

M: índice máximo permisible para identificar nivel aceptable de calidad.

c: Número de muestras permisibles con resultados entre *m* y *M*.

En los que observamos como resultados para el suero de leche utilizado en la elaboración del biol en la siguiente tabla, teniendo en cuenta que el suero utilizado corresponde a un suero de tipo ácido:

Tabla 4-10: Resultados fisicoquímicos del suero

Requisitos	Suero de leche ácido	
	Min.	Max.
Proteína láctea% (m/m)	0,8	---
Grasa láctea% (m/m)	---	0,3
pH	5,5	4,8

Realizado por: Mata, C., 2023.

Tabla 4-11: Resultados microbiológicos para el suero

Requisitos	n	m
Recuerdos de microorganismos aerobios mesófilos ufc/g	5	30 000
Recuento de Escherichia coli ufc/g	5	6
Staphylococcus aureus ufc/g	5	87
Salmonella /25g	5	Ausencia

Fuente:(INEN 2594 2011, p. 2).

Realizado por: Mata, C., 2023.

Hemos podido observar que los parámetros son cumplidos para su utilización en el fertilizante líquido orgánico, de igual manera la parte microbiológica cumple con los requisitos, asegurando el manejo fuera de riesgo de contaminación para el operario y el producto.

4.1.5. De la levadura de pan

La levadura de pan no sigue ninguna norma ya que se lo compra comercialmente, este ya viene con todas sus especificaciones y número de registro sanitario.

INFORMACIÓN NUTRICIONAL NUTRITION FACTS			
Porción de consumo habitual (*) 1 g = 1/5 cdta Commonly consumed portion (*) 1 g = 1/5 teaspoon			
Porciones por envase: 500 Servings por container: 500			
	100 g	Cantidad por porción Amount by portion	% VD (**)
Contenido energético/Calories (kcal e kJ)	355 kcal = 1491 kJ	3,55	0 %
Carbohidratos/Carbohydrates (g)	19 g	0,19	0 %
Azúcares totales/Total Sugars (g)	14 g	0,14	(***)
Proteínas/Protein (g)	43 g	0,43	0 %
Grasas Totales/Total Fats (g)	6 g	0,06	0 %
Gorduras Saturadas/Saturated Fat (g)	1 g	0,01	0 %
Gorduras Trans (g)	0 g	0	(***)
Colesterol/Cholesterol (mg)	0 mg	0	(***)
Fibra Dietaria/Dietary Fiber (g)	27 g	0,27	0 %
Calcio/Calcium (mg)	45 mg	0,45	0 %
Hierro/Iron (mg)	5 mg	0,05	0 %
Sodio/Sodium (mg)	120 mg	1,20	0 %

Ilustración 4-1: Información nutricional de levadura

Realizado por: Mata, C., 2023.

4.2. Validación del producto obtenido de acuerdo con 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 4-12: Norma NTC 5167 para productos orgánicos usados como fertilizantes

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA 5167			
PRODUCTOS PARA LA INDUSTRIA AGRÍCOLA			
PRODUCTOS ORGÁNICOS USADOS COMO ABONOS O FERTILIZANTES Y ENMIENDAS DE SUELO			
Clasificación del producto	Denominación del tipo	Informaciones sobre la forma de obtención y los componentes esenciales	Contenido mínimo en nutrientes Información sobre la evaluación de los nutrientes
ABONO ORGÁNICO LÍQUIDO		Producto líquido obtenido por adición de agua a un	* Sólidos suspendidos máximo 4%* *Contenido de Carbono Orgánico Oxidable total mínimo 20 g/l *N total + P ₂ O ₅ + K ₂ O ₁ , mínimo 40 g/l

	Abono orgánico NPK de origen animal y vegetal	abono orgánico, orgánico mineral sólido o mezcla de los anteriores, con posterior extracción al que puede o no, añadirse un fertilizante mineral y que cumple con los parámetros que se indican.	* CaO y MgO reportar en g/l * elementos menores, reportar en g/l * Contenido de sodio, reportar *Densidad, reportar *pH, reportar * Conductividad eléctrica reportar *Se indicará la materia prima de la cual procede del producto.
--	---	--	---

Fuente: (NTC ICONTEC 5167 2004, p. 5)

Realizado por: Mata, C., 2023

Para validar el biol final obtenido se debe comparar los resultados con la norma NTC INCOTEC 5167, los valores de estos análisis se muestran a continuación.

Tabla 4-13: Validación del fertilizante orgánico

Comparación de Resultados con la Norma NTC 5167				
	Elemento	Valor	Parámetro Establecido	Parámetro Resultado
ABONO ORGÁNICO LÍQUIDO	N	14,54 g/l	N total + P ₂ O ₅ + K ₂ O: mínimo 40 g/l	N + P ₂ O ₅ + K ₂ O: 40,01 g/l
	P	17,18 g/l	Carbono mínimo: 20 g/l	Carbono: 23 g/l
	K	8,29 g/l	pH > 5 y < 9	pH: 8,17
	Ca	13,64 g/l	Densidad: 1,1 g/cm³	Sólidos Totales: 2,79%
	Mg:	3,41 g/l	Sodio: 12,70 mg/l	Conductividad Eléctrica: 6,7 mS/cm

Realizado por: Mata, C., 2023

Según los resultados presentados en el recuadro, vemos que los parámetros están justo dentro de los rangos especificados por la norma.

4.3. Procedimiento industrial y de laboratorio

4.3.1. Bases de cálculo para el proceso industrial

Tabla 4-14: Cantidad de materia prima para elaborar el Biol

Materia Prima	Cantidad nivel laboratorio para 12 L de Biol	Cantidad Requerida a nivel industrial para 1000 L de Biol
Pollinaza	3.5 kg	291,66 kg
Ceniza de Hueso	0,175 kg	14,58 kg

Agua	13 L	1083,33 L
Suero de Leche	0,35 L	29,16 L
Levadura	0,015 kg	1,25 kg
Hojasasca	0,05 kg	4,16 kg
Melaza	0,35 L	29,16 L

Realizado por: Mata, C., 2023

Añadiendo a la tabla de resultados se debe reportar que, para la producción de ceniza de hueso desde cero, llevándolo a una producción de escala industrial se requiere 64,57 kg de hueso con carne, partiendo de los 10 kg utilizados en la elaboración en laboratorio.

4.3.2. Rendimiento de los procesos industriales y balance de energía

Tabla 4-15: Rendimientos de los procesos industriales

Ceniza de Hueso	
Proceso	Rendimiento
Lavado	100%
Cocción	60,66%
Secado	74,44%
Calcinación	51,35%
Molienda	98,56%
Tamizado	98,78%
Rendimiento Global	80,63%
Biol	
Mezclador	100%
Biodigestor	88,42%
Rendimiento Global	94,21%
TOTAL	87,42%

Realizado por: Mata, C., 2023

Del rendimiento global de la ceniza de hueso (80,63%) y el biol (94,21%) se obtiene un rendimiento general del proceso de elaboración de fertilizantes de 87,42% un valor relativamente bueno que garantiza el correcto desempeño y eficacia de la planta de producción propuesta.

Tabla 4-16: Valores obtenidos en el balance de energía del proceso

Balance de Energía			
Proceso	Descripción	Biol	Ceniza de hueso
Secado	Q total del proceso	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: Mata, C., 2023

4.3.3. Resultados del diseño del proceso para la elaboración del fertilizante orgánico

Tabla 4-17: Resultados del dimensionamiento de los equipos

Operación	Equipo	Variable	Símbolo	Valor	Unidad
Recepción y selección de la materia prima	Mesa Industrial	Volumen de la mesa	V_m	0,1	m^3
		Capacidad	C_m	98,3	kg
		Largo	L_m	1,0	m
		Ancho	A_m	0,5	m
		Altura	h_m	0,20	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 incinerador	Potencia	P_{mufla}	75	KW
		Temperatura máxima	T_{horno}	1320	$^{\circ}C$
		Capacidad	C_{horno}	150	kg
		Largo	L_{horno}	4190	mm
		Ancho	A_{horno}	1100	mm
		Profundidad	P_{horno}	2550	mm
Molienda	Molino de martillos	Capacidad	$C_{martillo}$	24	kg/h
		Energía del martillo	$E_{martillo}$	2,58	KW/tn
		Velocidad del motor	V_{motor}	1560	rpm
		Potencia	P_{molino}	1,05	HP
		Volumen de la tolva	V_{tolva}	0,02	m^3
		Potencia de la molienda	P_{molino}	0,25	HP
Tamizado	Tamizador industrial	Capacidad	C_{tamiz}	10,94	kg/h
		Número de tamiz	N_{tamiz}	35 (500)	μ
		Volumen de carga	V_{ctamiz}	0,01	m^3
		Motorreductor	M_{tamiz}	1	HP
		Carga de las bandejas	C_{btamiz}	60,77	kg/ m^2
Mezclado	Mezclador industrial	Capacidad	$C_{mezclador}$	500	kg
		Volumen del producto	$V_{pmezclador}$	0,74	m^3
		Potencia	$P_{mezclador}$	2	HP
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	$F_{a_{secador}}$	3450	m^3/h

Cortado	Cortadora de huesos tipo guillotina	Potencia	P_{cortado}	7,5	KW
		Velocidad de corte	V_{Cortado}	1440	rpm/min
		Espesor de corte	E_{Cortado}	4-6	mm
		Frecuencia	F_{Cortado}	60	Hz
Fermentación	Biodigestor	Capacidad	V_t	1000	lts
		Ancho	A	1,15	m
		Largo	B	196	m
		Cúpula	E	0,60	m
		Caudal de entrada	i	2	in
		Caudal de Salida	j	4	in

Realizado por: Mata, C., 2023.

Conforme el cálculo de ingeniería en el dimensionamiento del proceso de elaboración del abono orgánico líquido (Biol) se requiere principalmente de mesas de trabajo, una marmita, horno incinerador, cortadora tipo guillotina para producir:

Tabla 4-18: Cantidad de producción

Por lote	Al mes (2lotes)	Al día
1000 litros biol	2000 litros biol	100 litros biol

Realizado por: Mata, C., 2023.

4.4. Análisis de la viabilidad técnica y económica del proyecto

Para producir 1000 litros de biol al día, es decir, 100 unidades de 1litro cada uno, o 400 unidades de 25 k, se evaluó la viabilidad técnica y económica del proyecto.

Tabla 4-19: Beneficio /costo del proyecto

Detalle	Valor (\$)
TIR	113.388,59
VAN	198.463,62
Beneficio/costo	1,75

Realizado por: Mata, C., 2023.

La tabla 4-19 indica que por cada dólar que se invierte se obtendrá 1,75\$, es decir 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 4-20:

Tabla 4-20: Parámetros financieros de la factibilidad del proyecto

Parámetros	Resultado
La Tasa Interna de Retorno (TIR) es mayor a la tasa de descuento	TIR: 93 % > 10%
El Valor Actual Neto (VAN) es mayor que la Inversión Inicial	198.463,6 \$ > 58.621,47 \$
Cuando la Recuperación de la inversión es menor a 10 años	3 años < 10 años
Cuando el Coeficiente Beneficio / Costo es mayor a 1	1,75 > 1

Realizado por: Mata, C., 2023.

La tabla 4-20 expone que el proyecto es viable, es factible elaborar un fertilizante orgánico a base de seis fuentes de materia prima, estos resultados mantienen relación con el estudio elaborado por (Jaramillo 1958) 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 3 años.

Así mismo en la presente tabla se resumen los gastos y beneficios mensuales del proyecto.

Tabla 4-21: Resumen de los gastos mensuales y beneficios del proyecto

Gastos mensuales	1857,51\$
PVP unitario	3,25 \$
Ingresos mensuales	6.501,28\$
Margen de utilidad	0,30
Ganancia mensual	4.643,77\$

Realizado por: Mata, C., 2023.

4.5. Análisis y discusión de resultados

Los análisis realizados tanto para la caracterización de la materia prima como los hechos en el biol final, resultaron tener valores dentro del rango óptimo de las normas a comparar, lo que nos dio la evidencia necesaria de dar por seguro que la elaboración de este proyecto técnico en cuanto a la elaboración del producto es el óptimo, siendo un fertilizante líquido orgánico NPK con los valores de: N 14,54g/l, P 17,18g/l y K 8,29g/l.

En cuanto a la ceniza de hueso que fue la única materia prima elaborada en el laboratorio, se dio que, para realizarla a escala industrial y a causa de los altos valores que se consumía en los reactivos para su producción, se tomó la decisión de realizar la cocción en una marmita a presión esto nos ayudó a reducir en gran parte sus costos de producción, obteniendo así un resultado igual al realizado con el peróxido, solo que más rentable.

El biol presento una temperatura promedio de 24,11°C las mas bajas y las más altas de 30.07°C que se mantuvo durante todo el proceso de fermentación, con picos no tan pronunciados, haciendo que el transcurso de la digestión anaeróbica pudiera realizarse con éxito, sacando sus valores mas altos de nutrientes y verificando que tanto su color como olor eran los adecuados, sin percibirlo con tonos malolientes ni coloración verdosa-azulada, sino con un color café marrón.

En la parte del proceso de ingeniería, los equipos utilizados están dimensionados para producir la cantidad necesaria de 4000 litros de fertilizante líquido orgánico al mes, ya que ésta producción se la realiza por lotes, teniendo en claro que por lote se producen mil litros de biol, es posible esto porque el tiempo de retención requerido en la fermentación es de dos meses y es un tiempo necesario de reposo, en términos de producción-día se estaría elaborando 100 litros de biol al día, introduciéndolo en el mercado con la presentación de la botella de 1 litro y de 3,78 litros la de galón, en cuanto a la dilución del producto para la utilización óptima de los agricultores se recomienda en la etiqueta que por cada litro de biol se requiere 5 litros de agua para bombear preferiblemente en las mañanas o finalizando la tarde, ya que es el momento donde las estomas de la planta están abiertas y pueden ser absorbidas de mejor manera.

Para finalizar se consideró en la parte financiera un margen de utilidad del 0,3 en el punto de equilibrio dándonos que para alcanzarlo se necesita vender \$ 32 241,81 con un costo por unidad de \$ 2,04 y el galón de \$7,71. Considerando que para el tiempo de 1 año 8 meses la inversión inicial de 35.036,37 \$ se recupera, incluyendo la implementación y la producción.

CONCLUSIONES

Se realizó la caracterización de la materia prima en base a diferentes normas, ya que no se ha hallado una sola que englobe todas las seis materias primas utilizadas en la producción del Biol para este proyecto de carácter técnico, por lo que se analizó para la harina de hueso, la norma colombiana NTC 657 donde vemos como resultados los valores entre N, P, K y Ca dentro del rango establecido, considerando que el mayor porcentaje entre ellos es el de calcio, aportando un 12% de este micronutriente al biol final. En cuanto al análisis fisicoquímico de la melaza se presento como resultado que los azúcares totales, cenizas sulfatadas y grados brix de acuerdo a la norma ecuatoriana NTE INEN 1701, estaban dentro de los parámetros con un pH de 6,5. El suero de leche se acogió a la normativa INEN 2594:2011 “Suero de Leche Líquido, Requisitos” ésta se presentó para alimentos, cosmética, etc., al ser utilizada solo para alimentar los microorganismos necesarios para la fermentación, se permitió tomar ciertos parámetros, los más importantes que fueron la proteína láctea, grasa láctea, el pH y sus resultados microbiológicos donde se recalca ausencia de Salmonella. Para la levadura no se utilizo normativa ya que éste se la compro con registro sanitario, por ende, todos los parámetros ya estaban establecidos y normados en su compra. Y por último para la caracterización de la pollinaza no se registró ninguna normativa nacional ni internacional, haciendo que tomemos los valores para la caracterización en fuentes bibliográficas de revistas de investigación, por lo que los resultados se obtuvieron en el laboratorio de “Instrumental” de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH en el equipo DUMAS, donde se pudo corroborar que efectivamente sus valores se asimilaban a los encontrados por (Trujillo et al. 2019, p. 6), con un contenido C/N de 9,41.

Se identificó las variables que intervinieron en todo el proceso de elaboración de nuestro fertilizante orgánico líquido, siendo la temperatura, el pH y el tiempo de retención las claves para que el proceso sea el óptimo, en cuanto a los parámetros y operaciones unitarias, en la parte ingenieril se identificaron la trituración, molienda, secado y tamizado, además se tomó en consideración los procesos unitarios que estuvieron presentes y son esenciales para este estudio, los cuales son la calcinación y la fermentación.

Se efectuaron los cálculos de ingeniería necesarios para dimensionar 5 equipos, diseñados para producir por lotes 1000 litros de biol, cotizando los precios de los equipos restantes con sus respectivas características, ya que los costos de fabricación de éstos eran mas altos de los que ya se comercializan en el mercado, teniendo en consideración esto como ventaja para la empresa.

Se validó el fertilizante de acuerdo con la norma Colombiana NTC INCOTEC 5167 a nivel laboratorio, donde se especifican los requerimientos mínimos para biofertilizantes líquidos, los resultados cumplen con los requisitos normados ya que se encuentran dentro de los rangos establecidos, teniendo en consideración que al ser un producto orgánico, se garantiza la seguridad del suelo y de los agricultores que lo manipulan, haciendo un producto sostenible y amigable con el medio ambiente.

Se realizó un estudio técnico económico del diseño del proceso, con distintos parámetros financieros que nos permiten conocer la rentabilidad del proyecto, teniendo como resultado que el TIR posee un 57% , tasa mayor al del descuento del 10% regida en el VAN, lo que presentó un valor neto de \$ 64.272,94 siendo mayor al valor financiero de la inversión inicial de \$58.621,47. Añadiendo que la inversión será recuperable en el tiempo de 1 año 8 meses con un PVP de 2,04 por litro de biol producido y para la presentación de galón (4,54 litros) 7,71 siendo estos costos accesibles al agricultor.

RECOMENDACIONES

El uso de EPP adecuado se debe utilizar, principalmente en las etapas de cocción y horneado de los huesos ya que liberan vapores condensados malolientes que pueden causar cambios físicos en las materias primas y por las altas temperaturas propias al proceso.

Una vez que los huesos llegan a la fábrica, deben ser procesados el mismo día para evitar la contaminación por olores desagradables que degradan el tejido incrustado en el exterior de los huesos.

Para garantizar la calidad y seguridad del producto final, las variables y parámetros indicados en la propuesta técnica deben ser cuidadosamente controlados durante todo el proceso de fabricación.

GLOSARIO

Abono o fertilizante: producto cuya función principal es proporcionar elementos como el nitrógeno, fósforo y potasio entre otros que son considerados como nutrientes para las plantas.

Abono líquido: Abono en solución o en suspensión

Abono en solución: Abono líquido sin partículas sólidas.

Aeróbico: Proceso que requiere oxígeno

Anaeróbico: Proceso del que no se requiere oxígeno

Estiércol: Mezcla de orinas y fecas, productos de cama de animales que no han sido compostados.

Etapas mesófila: Fase del proceso en la que se alcanzan temperaturas entre los 10°C y 45°C.

Etapas termófila: Fase del proceso en la que se alcanzan temperaturas mayores a los 45°C.

Maduración: Etapa del proceso de compostaje en la que la temperatura desciende a niveles similares a la temperatura ambiente, aún en condiciones óptimas de humedad y ventilación. En esta fase el producto alcanza una madurez estable y alcanza el recomendado en los indicadores de estabilidad y madurez.

Materias primas: Residuos de origen animal o vegetal factibles de ser compostados, utilizados para la elaboración del biol, como la melaza, la pollinaza, el suero, la levadura, etc.

Nutriente principal: Elementos necesarios que requieren las plantas y hace referencia exclusivamente a los elementos nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K).

Nutriente secundario: Los elementos requeridos por las plantas en menor proporción como son el calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na) y azufre (S).

Residuos orgánicos: Cualquier residuo capaz de realizar una biotransformación ya sea aeróbica o anaeróbica.

Relación C/N: Es la división entre el carbono y el nitrógeno orgánicos.

Tiempo de retención: Este es el número de días para la biodigestión de cada tipo de sustratos a utilizar, para alcanzar la tasa óptima de producción de biogás y biol por unidad de materia seca. TR está directamente relacionado con la temperatura de reacción.

BIBLIOGRAFÍA

APARCANA, S.; & JANSEN, A. “Estudio sobre el Valor Fertilizante de los Productos del Proceso “Fermentación Anaeróbica” para Producción de Biogás”. *Professional energy and environmental consultancy*, vol. 1 (2008), pp. 1-10.

BEAUSANG, C.; et al. “Anaerobic digestion of poultry litter – A consequential life cycle assessment”. *Science of the Total Environment* [en línea], 2020, 735(1), pp. 139494. [Consulta: 2 marzo 2023]. ISSN 0048-9697. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139494>

BYRON, M. *Manual para elaborar y aplicar abonos y plaguicidas orgánicos*. S.l.: s.n., 2010.

CALDERÓN, J.; & IGLESIA, A. “Contribución a la suplementación ovina con pollinaza fermentada (Vitafert) y cuatro niveles de melaza”. *Revista Electrónica de Veterinaria*, vol. 7, no. 9 (2006), pp. 1-7. ISSN 1695-7504

CHOP, P.; et al. “Multifunctional liquid bio fertilizer as an innovative agronomic input for modern agriculture”. *Research and Development Seminario*, 2010. pp. 1-4.

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, Y.; et al. “Dinámica microbiana de la fermentación in vitro de las excretas de gallinas ponedoras”. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, vol. 39, no. 1(2005), pp. 75-79.

HERNÁNDEZ-SARABIA, M.; et al. “The potential of the biodigester as a useful tool in coffee farms”. *Applied Sciences (Switzerland)* [en línea], 2021, 11(5). [Consulta: 2 marzo 2023]. ISSN 20763417. Disponible en: DOI 10.3390/app11156884

HILBERT, J. *Manual para la producción de gas*. S.l.: Instituto de Ingeniería Rural. 2003. pp. 1-57.

JARAMILLO, E. Propuesta de diseño de un biodigester casero (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Instituto Politécnico Nacional. México. 2011. pp. 1-83.

JARAMILLO, M. Manual de Proyectos de Desarrollo Económico. 1958. pp. 258.

LIU, J.; et al. “Long-term organic fertilizer substitution increases rice yield by improving soil properties and regulating soil bacteria”. *Geoderma*, vol. 404 (2021). ISSN 00167061.

LUMBANTORUAN, S.M.; & ANGGRAINI, S. “Biofertilizer Formulation in Stimulating Corn Growth in Drought Stress Peatland”. *Jurnal Agroqua: Media Informasi Agronomi dan Budidaya Perairan*, vol. 19, no. 2 (2021), pp. 345. ISSN 0216-6585.

LUNA, L.E. *Abonos orgánicos y bioensayos*. S.l.: s.n. 2019.

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.

MIAH, M.R.; et al. “Production of biogas from poultry litter mixed with the co-substrate cow dung”. *Journal of Taibah University for Science* [en línea], 2016, 10(4), pp. 497-504. Consulta: [2 marzo 2023]. ISSN 1658-3655. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtusci.2015.07.007>

MINISTERIO DEL AMBIENTE Y AGUA DE ECUADOR. *Manual de aprovechamiento de residuos orgánicos municipales* [en línea]. S.l.: s.n. 2020. Disponible en: [Consulta: 2 marzo 2023]. ISSN 1658-3655. Disponible en: www.ambiente.gob.ec.

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 5167. Productos para la industria agrícola productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas de suelo. Colombia: s.n. 2004. pp. 1-14.

NTC ICONTEC 5167. *Productos Orgánicos usados como Abonos o Fertilizantes y Enmiendas del Suelo*. Colombia: s.n. 2004.

NTE INEN 1701. *Alimentos zootécnicos. Melaza. Requisitos.*

NTE INEN 209. *Fertilizantes y productos afines. Definiciones.*

NTE INEN 211:98. *Fertilizantes o Abonos. Tolerancias.*

NTE INEN 2594. *Suero de leche líquido. Requisitos.*

OYALA, Y.; & GONZALES, L. *Fundamentos para el diseño de biodigestores.* Colombia: Universidad Nacional De Colombia Sede Palmira. 2009. pp. 3-29.

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.

ROA, J. *Harina de Huesos.* S.l.: s.n. 2019. pp. 1-5.

TRUJILLO, E.; et al. “Production and chemical characterization of biochar from organic agricultural waste”. *Revista de la Sociedad Química del Perú* , vol. 85, no. 4 (2019), pp. 1-16.

VARGAS, M.F. “Biodigestores : factores químicos, físicos y biológicos relacionados con su productividad. *Tecnología en Marcha* , vol. 23, no.1 (2010), pp. 39-46. ISSN 0379-3962.

VERMA, N.P.; et al. “Study of liquid biofertilizer as an innovative agronomic input for sustainable agriculture”. *International Journal of Pure & Applied Bioscience*, vol. 6, no. 1 (2018), pp. 190-194.



ANEXOS

ANEXO A: CARACTERIZACIÓN POR MEDIO DEL EQUIPO DUMAS, LA POLLINAZA Y DOS TRATAMIENTOS A INTERÉS PARA EL ESTUDIO



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 Stefany Mata.
"Diseño del proceso industrial para la obtención de un fertilizante líquido orgánico"

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.



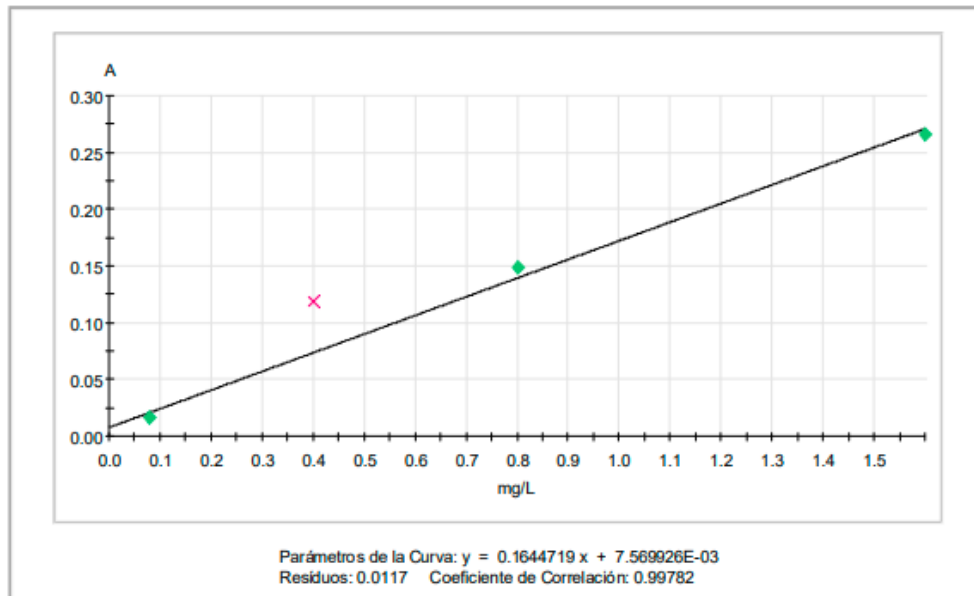
Firmado electrónicamente por:
JOSE LUIS
HERRERA
ROBALINO

Ing. José Luis Herrera R. MSc.
Técnico de Investigación Ocasional 1

ANEXO B: RESULTADOS DEL NITRÓGENO AMONIACAL ANALIZADO EN EL ESPECTROFOTÓMETRO O UV-VISIBLE

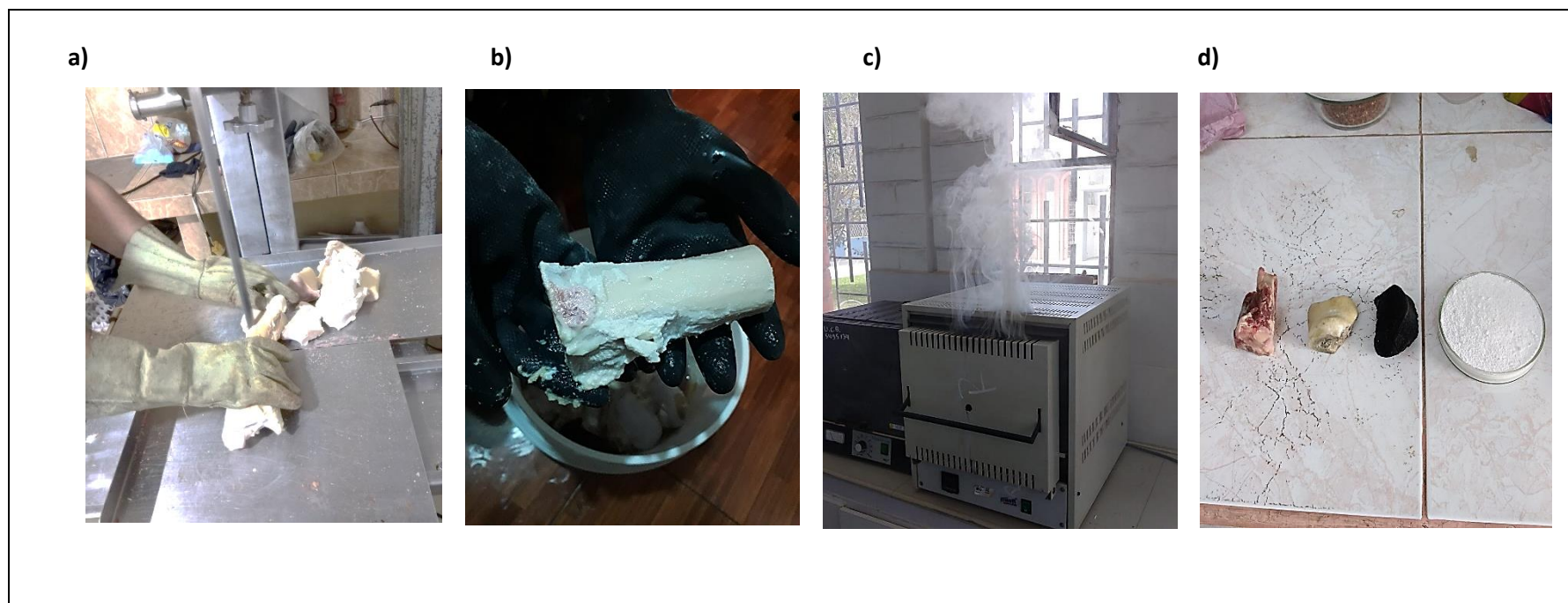
```

Metodo: N-AMONIACAL.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-AMONIACAL.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: PROCESO DE PRODUCCIÓN DE LA CENIZA DE HUESO



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	<p align="center"> ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA REALIZADO POR: Carla Stefany Mata Navarrete </p>	<p align="center"> TEMA “DISEÑO DEL PROCESO INDUSTRIAL PARA LA OBTENCIÓN DE UN FERTILIZANTE LÍQUIDO ORGÁNICO” </p>		
<p> a. Cortado de huesos. b. Acción del H₂O₂ en el tratamiento. c. Liberación de vapores en la calcinación. d. Etapas de producción de ceniza de hueso. </p>	<p> <input type="checkbox"/> Por aprobar <input checked="" type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Por verificar <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Certificado </p>		LÁMINA	ESCALA	FECHA
			1	1:1	2023/02/24



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: 28 / 06 / 2023

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: Carla Stefany Mata Navarrete
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Ingeniería Química
Título a optar: Ingeniera Química
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. Rafael Inty Salto Hidalgo

1064-DBRA-UPT-2023

