



UNIVERSIDAD
DE PIURA

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Análisis y propuesta de mejora del proceso de producción
de humus en el distrito de Chulucanas**

Tesis para optar el Título de
Ingeniero Industrial y de Sistemas

**Diana Shajari Bancayan Goicochea
Karla Smith Cisneros Palacios**

Asesor:
Dr. Ing. José Luis Calderón Lama

Piura, marzo de 2022

Agradezco a Dios por ser mi guía y por demostrarme su infinito amor.

A mis padres Ambrosio y Lucia por apoyarme en mis metas, por su amor, sus consejos; mis logros son también de ustedes. A mis hermanos y a toda mi familia por su apoyo y comprensión.

Al Programa Nacional de Becas y Crédito Educativo (PRONABEC) por brindarme la oportunidad de realizar mis estudios superiores en la Universidad de Piura.

A la Universidad de Piura, a mi asesor Dr. Ing. José Luis Calderón Lama por ser un excelente mentor, a mis profesores por sus valiosas enseñanzas y a mis amigos por su apoyo y ánimo, infinitas gracias.

Diana Shajari Bancayan Goicochea

Agradezco a Dios por expresarme su gran amor y su infinita bondad en todas las etapas de mi vida.

A mis padres Melba y Segundo por su amor incondicional y por siempre apoyarme, a mis hermanas Paola, Vanessa y Cinthia y a mi novio Hugo por su apoyo y comprensión.

Al Programa Nacional de Becas y Crédito Educativo (PRONABEC) por brindarme la oportunidad de realizar mis estudios superiores en la Universidad de Piura.

A la Municipalidad Provincial de Morropón Chulucanas por facilitar información y dar la oportunidad de trabajar junto a ellos la elaboración de este trabajo.

A mi asesor Dr. Ing José Luis Calderón Lama y a mis profesores por sus valiosas enseñanzas.

Karla Smith Cisneros Palacios

Resumen

La tesis tiene como objetivo proponer una mejora en el proceso de producción de humus de lombriz en la ciudad de Chulucanas, a partir del análisis del proceso realizado actualmente. La finalidad es incrementar el volumen de producción, considerando los parámetros de temperatura, pH y humedad adecuados durante el proceso para obtener un producto de calidad.

Para cumplir con lo mencionado, se ha producido a pequeña escala el producto (humus de lombriz) con el que se ha obtenido datos para considerar la producción a mayor escala, usando principalmente la materia orgánica proveniente del camal municipal, mantenimiento del ornato de parques y jardines y domicilios.

Se propone utilizar un proceso semi mecanizado para completar la producción en el tiempo estimado, sabiendo que, el humus de lombriz se obtiene mediante dos principales técnicas; compostaje y lombricultura. Teniendo presente el proceso productivo se diseñó la planta, determinando su disposición y localización, estableciendo un organigrama y un manual de organización y funciones a emplear dentro de la organización.

Finalmente, se realiza un análisis económico y financiero para determinar el presupuesto de inversión requerido para llevar a cabo la propuesta, así como, determinar el presupuesto de ingresos proponiendo vender el producto a un adecuado precio y evaluando el flujo económico en un horizonte de 5 años, el valor actual neto y la tasa interna de retorno.

Tabla de contenido

Introducción	19
Capítulo 1. Antecedentes	21
1.1 Breve historia del compostaje	21
1.2 Breve historia de lombricultura	22
1.3 Antecedentes del problema en Chulucanas	22
1.4 Metodología actual del proceso de compostaje	24
1.4.1 Descripción de la materia prima	24
1.4.2 Descripción del proceso	25
1.4.3 Herramientas utilizadas	27
1.5 Descripción del distrito de Chulucanas	27
1.5.1 Geografía	27
1.5.2 Población	27
1.5.3 Clima	28
Capítulo 2. Marco teórico	29
2.1 Residuos	29
2.1.1 Residuos sólidos	29
2.1.2 Residuos sólidos urbanos	30
2.1.3 Residuos sólidos orgánicos	30
2.2 Abono orgánico	30
2.2.1 Compost	31
2.2.2 Humus de lombriz	31
2.3 Compostaje	31
2.3.1 Parámetros durante el proceso	31
2.3.2 Fases del proceso de compostaje	34

2.3.3	Sistemas de compostaje.....	35
2.3.4	Metodología que puede emplearse en el proceso de compostaje	37
2.4	Lombricultura	40
2.4.1	Lombriz: Eisenia Foetida	40
2.4.2	Parámetros durante el proceso	41
2.4.3	Metodología que puede emplearse en el proceso de lombricultura.....	41
2.5	Equipos y/o herramientas en un proceso mecanizado	41
Capítulo 3.Análisis de elaboración de humus.....		45
3.1	Proceso de compostaje	45
3.1.1	Control de parámetros durante el proceso de compostaje	51
3.2	Proceso de lombricultura	55
3.2.1	Control de parámetros durante el proceso de lombricultura	58
3.3	Estimación del producto obtenido.....	59
Capítulo 4.Propuesta de mejora.....		61
4.1	Diseño del proceso.....	61
4.1.1	Descripción de etapas del proceso	61
4.1.2	Diagrama de operaciones	63
4.2	Capacidad de producción	64
4.2.1	Estimación de la población	64
4.2.2	Estimación de cantidad de residuos	65
4.3	Maquinaria y/o equipos.....	73
4.4	Mano de obra directa.....	76
4.5	Disposición de planta	76
4.5.1	Determinación de áreas.....	77
4.5.2	Tablas de interrelaciones.....	78
4.5.3	Diagrama de interrelaciones	79
4.5.4	Dimensionamiento de superficies	80
4.5.5	Diagrama de bloques	94
4.5.6	Layouts alternativos.....	95
4.5.7	Evaluación multicriterio.....	96
4.6	Localización de planta.....	96

4.7	Estructura organizacional	97
4.7.1	Organigrama	97
4.7.2	Manual de organización y funciones (MOF)	98
Capítulo 5. Análisis de presupuesto y financiamiento		103
5.1	Presupuesto	103
5.1.1	Presupuesto de inversión	103
5.1.2	Presupuesto de ingresos	105
5.1.3	Presupuesto de costos y gastos	106
5.1.4	Flujo económico	107
5.2	Financiamiento	108
5.2.1	Valor actual neto (VAN)	108
5.2.2	Tasa interna de retorno (TIR)	109
5.2.3	Periodo de recupero de capital	109
5.2.4	Fuentes de financiamiento	109
Conclusiones		111
Referencias bibliográficas		113
Apéndices		117
Apéndice A. Flujo económico		119
Anexos		121
Anexo A. Reporte de toneladas		123

Lista de tablas

Tabla 1. Población del distrito de Chulucanas.....	28
Tabla 2. Parámetros durante el proceso	33
Tabla 3. Cantidad de materia prima	47
Tabla 4. Referencia de temperatura.....	52
Tabla 5. Temperatura registrada en cada fase.....	52
Tabla 6. Referencia de pH.....	53
Tabla 7. pH registrado en cada fase.....	53
Tabla 8. Referencia de humedad.....	54
Tabla 9. Humedad registrada en cada fase	54
Tabla 10. Referencia de aspecto visual.....	55
Tabla 11. Aspecto visual de la pila en cada fase	55
Tabla 12. Proporción de cantidad de materia prima en una pila.....	62
Tabla 13. Población estimada hasta el año 2025	65
Tabla 14. GPC en el distrito de Chulucanas.....	66
Tabla 15. Cantidad de residuos sólidos municipales	66
Tabla 16. Porcentaje de residuos valorizados	67
Tabla 17. Cantidad de frutas y verduras	67
Tabla 18. Cantidad de maleza y poda	67
Tabla 19. Cantidad de estiércol	68
Tabla 20. Total de residuos disponibles.....	68
Tabla 21. Cantidad estimada de humus.....	68
Tabla 22. Producción de humus en el 2019.....	69
Tabla 23. Producción de humus en el 2020.....	69
Tabla 24. Cantidad de entrada de materia prima 2019.....	70

Tabla 25. Cantidad de entrada de materia prima 2020	70
Tabla 26. Cantidad promedio de residuos	71
Tabla 27. Cantidad de residuos con producción al 10%	72
Tabla 28. Cantidad de residuos con producción al 40%	72
Tabla 29. Cantidad de residuos con producción al 30%	72
Tabla 30. Volquete	73
Tabla 31. Trituradora	73
Tabla 32. Balanza industrial.....	74
Tabla 33. Volteadora de compost	74
Tabla 34. Tamiz vibratorio	74
Tabla 35. Equipos para medir pH y Temperatura.....	75
Tabla 36. Equipo para medir humedad	75
Tabla 37. Balanza.....	76
Tabla 38. Código de proximidades.....	78
Tabla 39. Código de razones	78
Tabla 40. Símbolo de actividades	78
Tabla 41. Dimensiones de oficina.....	80
Tabla 42. Dimensiones de cada oficina.....	80
Tabla 43. Requisitos de baños para oficina	81
Tabla 44. Dimensiones de baños para oficina	81
Tabla 45. Requisitos para baños para personal de producción.....	81
Tabla 46. Área para duchas y vestidores	82
Tabla 47. Dimensiones de una caseta de vigilancia	82
Tabla 48. Dimensiones de comedor	82
Tabla 49. Densidad de residuos sólidos municipales	82
Tabla 50. Superficie estática del área de compostaje	87
Tabla 51. Superficie gravitatoria del área de compostaje	87
Tabla 52. Altura de elementos del área de compostaje	87
Tabla 53. Superficie de evolución del área de compostaje.....	88
Tabla 54. Superficie total del área de compostaje.....	88

Tabla 55. Superficie estática del área de lombricultura	89
Tabla 56. Superficie de gravitación del área de lombricultura	89
Tabla 57. Altura de elementos del área de lombricultura	89
Tabla 58. Superficie de evolución del área de lombricultura	90
Tabla 59. Superficie total del área de lombricultura.....	90
Tabla 60. Superficie estática del almacén general.....	91
Tabla 61. Altura de elementos del área de almacén general.....	91
Tabla 62. Superficie de evolución del área de almacén general	92
Tabla 63. Superficie total del área de almacén general	92
Tabla 64. Superficie de áreas.....	94
Tabla 65. Evaluación multicriterio.....	96
Tabla 66. MOF Gerente	98
Tabla 67. MOF de Subgerente de operaciones.....	99
Tabla 68. MOF de Subgerente de contabilidad.....	99
Tabla 69. MOF de jefe de producción	100
Tabla 70. MOF de jefe de logística.....	100
Tabla 71. MOF de jefe de calidad	101
Tabla 72. MOF de Asistente de almacén.....	101
Tabla 73. MOF encargado de compostaje.....	101
Tabla 74. MOF encargado de lombricultura.....	102
Tabla 75. Maquinaria.....	103
Tabla 76. Herramientas.....	104
Tabla 77. Equipo de control de calidad.....	104
Tabla 78. Equipos de protección personal y señales de seguridad.....	104
Tabla 79. Materiales.....	104
Tabla 80. Infraestructura.....	105
Tabla 81. Capacitaciones.....	105
Tabla 82. Presupuesto de inversión	105
Tabla 83. Presupuesto de inversión	106
Tabla 84. Gastos preoperativos	106

Tabla 85. Costos directos.....	106
Tabla 86. Costos indirectos.....	107
Tabla 87. Flujo de caja.....	107
Tabla 88. Depreciación de maquinaria	108
Tabla 89. Flujo económico	108



Lista de figuras

Figura 1. Recolección de residuos orgánicos en el camal municipal.....	24
Figura 2. Recolección de restos de poda de parques y jardines	25
Figura 3. Lugar de recepción de materia prima	25
Figura 4. Ubicación de pilas del proceso de compostaje	26
Figura 5. Camas para el proceso de lombricultura	26
Figura 6. Producto final (humus)	27
Figura 7. Pilas estáticas	36
Figura 8. Pilas dinámicas	36
Figura 9. Sistema cerrado.....	37
Figura 10. Ubicación de pilas según las fases del proceso.....	38
Figura 11. Ubicación de una pila.....	39
Figura 12. Ubicación de dos pilas	39
Figura 13. Ubicación de tres a más pilas	39
Figura 14. Ciclo reproductivo de la lombriz Eisenia Foetidia.....	41
Figura 15. Tolva.....	42
Figura 16. Criba tambor	42
Figura 17. Molino de tornillo sin fin	43
Figura 18. Separador balístico	43
Figura 19. Tamiz vibratorio.....	43
Figura 20. Recepción de residuos orgánicos.....	45
Figura 21. Estiércol.....	46
Figura 22. Paja de arroz	46
Figura 23. Poda.....	46
Figura 24. Hojarasca y ramillas de algarrobo.....	46

Figura 25. Pesado de residuos orgánicos	47
Figura 26. Trituración	47
Figura 27. Ubicación de pila	48
Figura 28. Construcción de pila	48
Figura 29. Regado de pila	49
Figura 30. Tubo de PVC con agujeros	49
Figura 31. Colocación del tubo en la pila	49
Figura 32. Volteo de la pila	50
Figura 33. Prueba de sobrevivencia	50
Figura 34. Pesado de compost	51
Figura 35. Termómetros analógicos	51
Figura 36. Indicador de pH	53
Figura 37. Construcción de cama para lombrices.....	56
Figura 38. Colocación de compost en la cama	56
Figura 39. Sembrado de lombrices	56
Figura 40. Humedecimiento a la cama	57
Figura 41. Recuperación de lombrices.....	57
Figura 42. Tamizado de humus	58
Figura 43. Pesado de humus	58
Figura 44. Temperatura de humus	58
Figura 45. pH de humus	59
Figura 46. Elementos de entrada y salida en el compostaje.....	60
Figura 47. Diagrama de operaciones	64
Figura 48. Composición porcentual de los tipos de residuos sólidos	66
Figura 49. Comparación de cantidad de residuos	71
Figura 50. Herramientas	75
Figura 51. Tabla de interrelaciones.....	79
Figura 52. Diagrama de interrelaciones 1	79
Figura 53. Diagrama de interrelaciones 2	80
Figura 54. Diseño de pila	85

Figura 55. Diseño de ubicación de pilas	86
Figura 56. Estante	90
Figura 57. Zona de ingreso y salida de vehículos.....	92
Figura 58. Almacén de productos terminados	93
Figura 59. Diagrama de bloques 1.....	94
Figura 60. Diagrama de bloques 2.....	95
Figura 61. Layout 1	95
Figura 62. Layout 2.....	96
Figura 63. Ubicación satelital de la planta de compostaje.....	97
Figura 64. Organigrama	98



Introducción

El distrito de Chulucanas se encuentra ubicado en la provincia de Morropón, en el departamento de Piura, Perú. La municipalidad de este distrito, a través de la Gerencia de Servicios a la Comunidad y Gestión Ambiental y con la Sub Gerencia de Residuos Sólidos, está trabajando en el Plan de Valorización de Residuos Sólidos Orgánicos Municipales.

Dentro del Plan de Valorización de Residuos Sólidos Orgánicos, se realiza el proceso de producción de humus, con la finalidad de utilizar los residuos sólidos orgánicos como materia prima, y obtener un producto con valor agregado, reduciendo el volumen de desechos en el botadero municipal y la emisión de gases de efecto invernadero, los cuales son contaminantes para el medio ambiente.

Los residuos recolectados de maleza y poda (los cuales provienen de los jardines y parques ubicados en la ciudad) y estiércol animal (el cual proviene del camal municipal) se usan como materia prima en el actual proceso, sin embargo, no se aprovechan otros residuos orgánicos generados como frutas y verduras (provenientes de los domicilios y mercados) que pueden ser utilizados en el proceso de producción.

El proceso de producción de humus es de tipo manual. Para obtener humus, primero se realiza el proceso de compostaje, con el que se obtiene el compost que servirá de alimento para las lombrices (llamada técnica de lombricultura); durante el proceso, no se realiza el control de parámetros físicos y/o químicos principales, afectando la calidad del producto. Todo el proceso se realiza en el vivero municipal, ubicado a 5 minutos del centro de la ciudad de Chulucanas.

En el año 2019, la producción de abono fue aproximadamente de 14 toneladas, sin embargo, se desea aumentar la producción en los próximos años.

Con el propósito de dar solución a estos inconvenientes, se analizará el proceso de producción actual y se realizará una propuesta de mejora del proceso de producción de humus de lombriz a la Municipalidad Provincial de Morropón- Chulucanas.

Capítulo 1

Antecedentes

En el presente capítulo, se da a conocer la historia de la técnica del compostaje y la lombricultura, se mencionan los antecedentes del problema con respecto a la producción del humus y, se detalla la geografía, población y clima del distrito de Chulucanas.

1.1 Breve historia del compostaje

La palabra compost viene del latín *componere*, es decir “juntar”. El compost, se basa en reunir los restos orgánicos que, a través de un proceso de fermentación, se obtiene un producto de color marrón oscuro (Buscalia & Martin, 2016).

El compostaje ha sido practicado desde hace miles de años en diferentes partes del mundo. En Asia Oriental los chinos recogían las materias orgánicas de los jardines, campos y casas, para luego compostarlo. En el Oriente, en Jerusalén, había lugares disponibles para los residuos urbanos, para luego clasificarlos, algunos eran quemados y otros eran utilizados para obtener abono orgánico (Scribd, 2020).

Después de la Primera Guerra Mundial, el compostaje toma popularidad en la agricultura, sin embargo, la técnica del compostaje en grandes cantidades tiene su origen en la India, con la ayuda del inglés Albert Howard. Howard, quien utilizó un método llamado Indore, el cual se basa en fermentar una mezcla de desechos vegetales y excrementos de animales, humedeciéndola continuamente (Buscalia & Martin, 2016).

Cabe destacar que, en el año 1925, en Europa se comenzó a estudiar la posibilidad de descomponer en gran escala los residuos de las ciudades utilizando el método Indore. En 1932, en la ciudad holandesa de Hanmer, se instaló la primera planta de compost hecho con los residuos urbanos. En la década de los 60, ya existían en Europa 37 plantas, y esta cantidad aumentó considerablemente, por lo que al inicio de los 70 se tenía 230 plantas, en las que destacaban el Estado francés y el español. Sin embargo, a mediados de los 70, dicha evolución se estancó, cerrándose numerosas plantas, siendo una de las causas principales la deficiente calidad del compost producido (Scribd, 2020). Mientras tanto en Perú, según el Ministerio del Ambiente en el 2015, cada día se está generando un promedio de 18 mil toneladas de basura, de esta cantidad un 58.75% son residuos orgánicos; de este porcentaje, se utiliza menos del 1 % para producir compost, depositando el resto de los residuos en rellenos sanitarios o en botaderos ilegales. Una de

las principales causas, de no realizar el proceso de compostaje, se debe a que en el Perú no existen grandes plantas de compostaje (Grandez, 2019).

1.2 Breve historia de lombricultura

La lombricultura es una técnica que se basa en la crianza de lombrices en condiciones de cautividad, Tineo (Tineo, 1991 como se citó en Pineda, 2006).

En la antigua Grecia, Aristóteles (322-384 A.C.), manifestó que las lombrices eran los intestinos del suelo quienes ayudaban a la buena fertilidad de este, en Egipto, por esta misma razón, eran considerados animales muy valiosos. Por otro lado, en el antiguo Perú, ya apreciaban la importancia de estas especies en las tierras de cultivo (Pineda, 2006; como se citó en Sánchez, 2012).

En 1707 Carl Von Linneo, incluyó por primera vez en su "Sistema natural", una especie de lombriz llamada *Lombricus Terrestris*. En 1809 Charles Darwin, publicó un libro referente a la formación de materia orgánica (humus) a través de la acción de lombrices. En el año 1930, el Dr. Tomas Barret logró domesticar lombrices, mejorando de este modo la técnica de lombricultura (Pineda, 2006).

En 1947, Hugn Carter, suministraba a las tiendas de caza y pesca 15 millones de lombrices al año, de esta forma, la lombricultura se fue difundiendo en Europa, Asia y América (Pineda, 2006).

En 1986, se inicia la crianza de lombrices en el Perú. Se dice que las lombrices fueron traídas de Chile y presentadas en la Feria Internacional del Pacífico, siendo adquiridas por empresarios de Chancay y Yurimaguas, expandiéndose a Huancayo, Huaraz, Huachipa, Cerro de Pasco, Lambayeque, Piura y posteriormente, a otras regiones del país. Por lo que, en el año 1987, diversas instituciones pusieron en práctica esta biotecnología (Figuroa, 1993 como se citó en Sánchez, 2012).

1.3 Antecedentes del problema en Chulucanas

Según Ley N° 27972 - Ley Orgánica de Municipalidades, en el Artículo I Gobiernos Locales, señala que:

Los gobiernos locales son entidades básicas de la organización territorial del Estado y canales inmediatos de participación vecinal en los asuntos públicos, que institucionalizan y gestionan con autonomía los intereses propios de las correspondientes colectividades, siendo elementos esenciales del gobierno local, el territorio, la población y la organización (Ministerio del Ambiente, 2003).

Y, según el decreto legislativo N° 1278, Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, Artículo 2- Finalidad de la gestión integral de los residuos sólidos, es preferible la recuperación y valorización de los residuos, teniéndose como alternativas: reutilizar, reciclar, compostar, entre otras; tanto residuos orgánicos como inorgánicos, pero

garantizando siempre la protección de la salud y el cuidado del medio ambiente. (Ministerio del Ambiente, 2017).

Basado en estas leyes, la Municipalidad provincial de Morropón-Chulucanas, a través de la Gerencia de Servicios a la Comunidad y Gestión Ambiental, y con la Sub Gerencia de Residuos Sólidos, vienen trabajando en el Plan de Valorización de Residuos Sólidos Orgánicos Municipales.

Según la Ing. Calle Jimenez Judith (2020), encargada de la Sub Gerencia de Servicios a la Comunidad y Gestión Ambiental, comentó que el Plan de Valorización de Residuos Sólidos Orgánicos Municipales trabajado en el 2019, señala como fuentes de generación de residuos orgánicos, a: viviendas, camal municipal, centro de abastos y lo recaudado del mantenimiento de ornato de las áreas verdes de la ciudad.

Una vez recaudados los sólidos orgánicos, son llevados al vivero municipal (donde se realiza el proceso de compostaje) para usarlos como materia prima para la elaboración del humus; este producto es a su vez, utilizado como abono para las áreas verdes y viveros municipales.

Pero, entre los sólidos orgánicos llevados al vivero, se encuentran también restos de sólidos inorgánicos como: plásticos, metal, vidrio, entre otros, los cuales están mezclados entre sí, por lo que no hay una adecuada separación de estos residuos, afectando la calidad del humus (producto final).

Según el estudio de Caracterización de residuos sólidos municipales (Gerencia de Servicio a la Comunidad y Gestión Ambiental, 2019), realizado en el año 2019, indica que, de la cantidad de residuos sólidos recolectados, el 40.44 % corresponde a residuos orgánicos. Así mismo, estima que la generación per cápita es de 0.646 kg/hab.día.

La cantidad de materia prima que ingresa al vivero municipal es registrada en un cuaderno por la misma persona que se encarga de realizar todo el proceso de producción. Según los registros de junio a diciembre del 2019, los residuos sólidos orgánicos que ingresaron fueron obtenidos en su mayor parte del camal municipal y de las áreas verdes.

Según lo observado en las visitas al vivero municipal (lugar donde se realiza el proceso), la tecnología empleada en todo el proceso de producción del humus es manual. Para ello, se utilizan herramientas como: rastrillo, picos, carretilla, zaranda entre otros. Los cuales son utilizados por un solo operario quién labora 8 horas al día.

Al tener una sola persona como mano de obra y a su vez tener una tecnología manual, perjudica el avance del proceso de producción. Además, no se realiza el control de parámetros físicos y/o químicos durante el proceso.

El vivero municipal donde se realiza el compost está ubicado en el sector El Algarrobo, al Este de la ciudad de Chulucanas, el cual tiene un área de 2.3 hectáreas. Siendo propiedad de la Municipalidad Provincial de Morropón – Chulucanas.

La distribución del terreno de cada etapa que involucra el proceso de producción no es la adecuada. Puesto que, por ejemplo, el espacio para colocar la materia prima no es el adecuado para almacenar grandes cantidades y/o para clasificar los residuos orgánicos, las pilas no están ordenadas, no hay una señalización de las áreas que involucran los diferentes procesos, etc.

1.4 Metodología actual del proceso de compostaje

Para mejorar el proceso de producción de humus, es necesario conocer el proceso actual con el que se viene trabajando, y a su vez, la materia prima que se usa en el proceso.

1.4.1 Descripción de la materia prima

Las fuentes principales de materia orgánica que ingresan al vivero municipal para producción de humus provienen principalmente de:

- **Estiércol animal:** Destaca el estiércol de ganado vacuno, el de caballo, oveja y los purines. Estos residuos orgánicos son obtenidos del camal municipal de Chulucanas. En la Figura 1, se muestra el momento en el que recolectan el estiércol del camal municipal.



Figura 1. Recolección de residuos orgánicos en el camal municipal
Fuente: Gerencia de Servicio a la Comunidad y Gestión Ambiental (2019)

- **Restos de poda:** Son los residuos que han sido generados durante la limpieza y poda de áreas verdes de los parques y jardines de la ciudad de Chulucanas. Ver Figura 2.



Figura 2. Recolección de restos de poda de parques y jardines
Fuente: Gerencia de Servicio a la Comunidad y Gestión Ambiental (2019)

1.4.2 Descripción del proceso

Entre los años 2019 y 2020, la Sub Gerencia de Residuos Sólidos de la Municipalidad Provincial de Morropón-Chulucanas encargada del proceso de compost, viene trabajando con el proceso de tipo manual, utilizando la lombriz *Eisenia Foetida* conocida también como lombriz roja californiana, lo que hace que el producto (abono orgánico) reciba como nombre: humus de lombriz.

Una vez que los residuos orgánicos son recolectados de las diferentes fuentes, se transportan al vivero municipal donde se realiza el proceso de compostaje. Al ingresar, son almacenados. En Figura 3 se muestra el lugar donde se colocan los residuos.



Figura 3. Lugar de recepción de materia prima
Fuente: Gerencia de Servicio a la Comunidad y Gestión Ambiental (2019)

Para el proceso de compostaje, se utilizan pilas dinámicas (se suele construir hasta 12 pilas de 4m² cada una) como se muestra en la Figura 4, antes de construir las pilas, la materia orgánica se tritura con ayuda de picos y lampas. Las pilas son regadas con una frecuencia de 1 a 2 veces por día y removidas cada 5 días, para homogenizar la descomposición de los residuos.



Figura 4. Ubicación de pilas del proceso de compostaje
Fuente: Gerencia de Servicio a la Comunidad y Gestión Ambiental (2019)

Posterior a esto, el material de las pilas se coloca en camas rectangulares en las cuales se colocan lombrices del tipo *Eisenia Foetida*, las lombrices se alimenten de la materia orgánica que aún no se descomponen en su totalidad, para finalmente obtener el humus. El diseño que tienen las camas es de forma rectangular y están hechas a base de madera y recubiertas de plástico. Ver Figura 5.



Figura 5. Camas para el proceso de lombricultura
Fuente: Gerencia de Servicio a la Comunidad y Gestión Ambiental (2019)

El producto se almacena en sacos de aproximadamente 50 kg, para luego donarlo según las solicitudes de instituciones o para las diversas áreas verdes de la ciudad. Ver Figura 6.



Figura 6. Producto final (humus)
Fuente: Gerencia de Servicio a la Comunidad y Gestión Ambiental (2019)

1.4.3 Herramientas utilizadas

Las herramientas usadas actualmente en el proceso de producción son:

- 4 unidades de rastrillo
- 4 unidades de pico
- 2 unidades de carretilla
- 1 unidad de zaranda

1.5 Descripción del distrito de Chulucanas

El distrito de Chulucanas, capital de la provincia de Morropón, fue creado políticamente el 27 de junio de 1937, mediante ley N° 8174, rubricada por el general Oscar R. Benavides y teniendo como alcalde al señor Donatilo Arellano Gómez (Municipalidad Provincial de Morropón - Chulucanas, s.f.).

1.5.1 Geografía

El distrito de Chulucanas se encuentra a una altitud de 92 m.s.n.m. y tiene una superficie de 871,1 km². Limita por:

- El norte: Distrito de Frías (Ayabaca).
- El sur: Distrito Santo Domingo (Morropón).
- El este: Distritos de Buenos Aires, La Matanza y Salitral (Morropón).
- El oeste: Distrito de Piura (Piura).

1.5.2 Población

En la Tabla 1, se muestra el registro de la cantidad de habitantes por año (desde el 2015 hasta el 2020) del distrito de Chulucanas.

Tabla 1. Población del distrito de Chulucanas

Año	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Población	76 214	76 813	77 408	77 994	78 605	84 857

Fuente: Ministerio de Salud (s.f.)

1.5.3 *Clima*

El clima es seco y saludable. Presentándose lluvias entre los meses de diciembre y marzo. Presenta una temperatura máxima de 38 °C y una mínima de 18 °C. Cuenta con una humedad estacional entre 17 y 18 %. (Municipalidad Provincial de Morropón - Chulucanas, s.f.).



Capítulo 2

Marco teórico

En el presente capítulo, se definen los conceptos de residuos y sus tipos, así como el concepto de abono orgánico y dos de los principales tipos: compost y humus, los cuales son de estudio para este trabajo de investigación. Además, se detalla los parámetros, fases y sistemas de compostaje, así como también, se describe la técnica de lombricultura.

2.1 Residuos

Según la Real Academia Española (2001), se denomina residuo a:

- Parte o porción que queda de un todo.
- Aquello que resulta de la descomposición o destrucción de algo.
- Material que queda como inservible después de haber realizado un trabajo u operación.

Entonces se podría decir que, un residuo es un material que para su dueño ya no es servible, y que ha sido desechado.

El Sistema Nacional de Información Ambiental (s.f.), clasifica los residuos orgánicos según sus características en:

- Residuo peligroso: Representa un riesgo para la salud pública y/o daños para el medio ambiente. Por ejemplo: pilas, baterías, pinturas.
- Residuo no peligroso: No representa riesgo para la salud pública ni daños al medio ambiente. Por ejemplo: desechos alimenticios, madera, cartón.

2.1.1 Residuos sólidos

La ley N° 27314 – Ley General de Residuos Sólidos, define a los residuos sólidos como: “Aquellas sustancias, productos o subproductos en estado sólido o semisólido de los que su generador dispone, o está obligado a disponer, en virtud de lo establecido en la normatividad nacional o de los riesgos que causan a la salud y el ambiente, para ser manejados a través de un sistema” (Sistema Nacional de Información Ambiental, 2000).

Así mismo, esta ley clasifica a los residuos sólidos, según su origen en:

- Residuo domiciliario
- Residuo comercial

- Residuo de limpieza de espacios públicos
- Residuo de establecimiento de atención de salud
- Residuo industrial
- Residuo de las actividades de construcción
- Residuo agropecuario
- Residuo de instalaciones o actividades especiales

2.1.2 Residuos sólidos urbanos

Los residuos sólidos urbanos (RSU), son todos los desechos que han sido producidos en la ciudad; es decir, pueden provenir de los domicilios, comercios, instituciones, entre otros. Estos residuos pueden ser: desechos de alimentos, papel, cartón, madera, vidrio, plástico, etc. Es decir, residuos clasificados como no peligrosos (twenergy, 2019).

2.1.3 Residuos sólidos orgánicos

Los residuos sólidos orgánicos, se encuentran clasificados como residuos no peligrosos. Básicamente, son de origen animal o vegetal, son biodegradables y tienen como principal característica el poder de desintegrarse o degradarse rápidamente (Consortio Provincial Residuos Sólidos Urbanos Málaga, s.f.).

2.2 Abono orgánico

Se denomina abono orgánico al producto elaborado a base de desechos de origen animal y/o vegetal (Borrero, s.f.).

El abono orgánico brinda beneficios al suelo, estos pueden ser:

- Restituir la materia orgánica del suelo: La agricultura intensiva y la quema de residuos en el lugar de cultivo, causan la pérdida de la materia orgánica y, a su vez, la degradación del suelo (Departamento de Desarrollo Económico, Sostenibilidad y Medio Ambiente, s.f.). Por lo que, es necesario incluir abono orgánico para ayudar a mantener la materia orgánica a largo plazo.
- Mejora la capacidad nutritiva del suelo: Una de las principales funciones de la materia orgánica es aportar nutrientes como nitrógeno, potasio, magnesio, entre otros; lo que sirve de alimento a los microorganismos presentes en el suelo, ayudando de esta manera al crecimiento de las plantas.
- Mejora la calidad de la producción de los cultivos: El abono orgánico ayuda a mejorar la estructura del suelo, permitiendo el adecuado acceso del agua y aire, además de incrementar la fertilidad y estabilizar el pH, lo que mejora la calidad de la producción de los cultivos.

Hay muchos tipos de abonos orgánicos, para el presente trabajo de investigación, interesa conocer el compost y el humus de lombriz.

2.2.1 Compost

El compost es un producto obtenido a partir de la descomposición de residuos orgánicos; tanto de vegetales como de animales, por lo que es considerado un abono orgánico.

Este producto brinda diferentes beneficios a la tierra, porque tiene características húmicas que ayudan a recuperar las propiedades que la tierra va perdiendo con el paso del tiempo.

El compost mejora también el desarrollo y crecimiento de las plantas, dado que contiene valores apreciables de nutrientes como: nitrógeno, fósforo y potasio, los cuales traen efectos positivos en la población microbiana de los suelos, disminuyendo la incidencia de enfermedades en los cultivos y la población parasitaria que perjudica los suelos (Mendoza M. , 2012).

2.2.2 Humus de lombriz

El humus de lombriz es un abono orgánico de color oscuro, granulado y sin olor, es beneficioso para la flora y fauna microbiana del suelo, debido a los nutrientes que posee.

El producto es obtenido debido a que las lombrices se alimentan de la materia orgánica descompuesta (compost); el excremento de estos animales se le llama humus de lombriz (INIA, 2008).

2.3 Compostaje

El compostaje es un proceso de descomposición bioquímica, donde los materiales orgánicos originales se transforman y se estabilizan debido a la acción de una gran población de microorganismos. La técnica del compostaje ayuda a disminuir todo tipo de microorganismos patógenos que producen daños en los cultivos y por ende en los animales y seres humanos como consumidores finales (Mendoza M. , 2012).

2.3.1 Parámetros durante el proceso

El compostaje también es considerado un proceso biológico llevado a cabo por microorganismos, por lo que, a lo largo de todo el proceso es fundamental monitorear los parámetros de: humedad, pH, relación C:N, temperatura , oxígeno y tamaño de partícula (Román, Martínez, & Pantoja, Manual de compostaje del agricultor, 2013).

Según Román, Martínez y Pantoja (2013), cada uno de estos parámetros debe tener un rango de valores que hay que considerar durante todo el proceso. A continuación, se detalla cada uno de ellos:

- **Humedad**

El rango ideal de la humedad durante el proceso de compostaje es entre el 45 al 60%. La variación de estos valores va a depender de los materiales y del tipo de compostaje que se utiliza para la obtención del compost.

Salir del margen ideal del contenido de humedad, esto es con una variación del 40 al 70% puede ser tolerable, sin embargo, aquellos contenidos de humedad muy superiores e inferiores al rango ideal definitivamente perjudicarían el proceso.

Un contenido de humedad superior al 70%, hará que los espacios entre las partículas de los materiales se saturen de agua, impidiendo el movimiento del aire dentro de la pila, por lo que el proceso se volvería anaeróbico y los microorganismos morirían por falta de oxígeno. Esto traería como consecuencia, abundantes microbios que tomarían el control del proceso, ocasionando gases muy olorosos, que son perjudiciales; además, aumentaría el problema del efecto invernadero.

Al darse el caso, la mejor solución sería, voltear la mezcla y/o añadir materia orgánica con bajo contenido de humedad y alto contenido de carbono. La materia orgánica, podría ser: hojas secas, aserrín, paja, entre otros.

Por el contrario, cuando el contenido de humedad es inferior al 40%, disminuye la actividad microbiana, por lo que se genera muy poco calor en la pila, haciendo que el proceso se vuelva extremadamente lento, generando que en un determinado periodo de tiempo se detenga debido a una deshidratación microbiana.

Para regular la cantidad de humedad, se podría añadir agua o materia orgánica que tenga mayor contenido de humedad; como, por ejemplo: frutas césped, entre otros.

- **pH**

El pH es un parámetro de mucha importancia durante el proceso de compostaje, debido a que evalúa el ambiente microbiano y la estabilización de los residuos. Este se encargará de indicar si el producto o material a utilizar, es ácido (pH inferior a 7), alcalino (pH superior a 7) o neutro (pH igual a 7).

Durante el proceso de compostaje es aceptable que el compost sea lo más neutro posible, por lo que el rango ideal es entre el 4.5 al 8.5; esto haría que los microorganismos encargados de la descomposición de la materia orgánica realicen muy bien su trabajo.

Dándose el caso del que el pH sea inferior a 4.5, se tendría un exceso de ácidos orgánicos; una posible solución a esto sería agregar materia orgánica rica en nitrógeno, hasta conseguir una relación adecuada de C:N (entre 15:1 a 35:1).

Por el contrario, si se tiene un pH superior a 8.5, se tendría un exceso de nitrógeno, desestabilizando la relación adecuada de C:N, esto asociado a temperaturas altas y a la humedad, provocaría la producción de amoníaco y alcalinizaría el medio.

Se debe considerar que, durante el proceso de compostaje el pH varía con el tiempo, debido a su acción sobre los microorganismos.

- **Relación Carbono - Nitrógeno (C:N)**

La relación numérica Carbono-Nitrógeno (C-N); se obtiene al dividir el % total de carbono (C) entre el % total de nitrógeno (N). El rango ideal de relación se da entre el 15:1

y el 35:1; los valores inferiores a 15:1 ocurren por exceso de nitrógeno, lo que causa que se incremente la temperatura y se genere malos olores; los valores superiores al 35:1 se producen por el exceso de carbono, lo que hace que la temperatura disminuya y el proceso se vuelva lento.

- **Temperatura**

La temperatura suele variar en función del proceso del compostaje, éste inicia a una temperatura ambiente; y puede llegar a una temperatura de 65 °C, para luego volver a la temperatura ambiente desde la fase de maduración. Sin embargo, el rango ideal de temperatura se sitúa entre los 35 °C y los 70 °C; el tener temperaturas fuera de ese rango puede deberse a diferentes causas.

Si la temperatura es inferior a 35 °C puede ser por: falta de humedad, material insuficiente o forma de pila inadecuada o por déficit de nitrógeno o baja C:N. Si la temperatura es mayor a los 70° C, la posible causa sería la insuficiencia de humedad y ventilación, para solucionar este problema, se realiza el volteo y se verifica la humedad, además, se podría añadir material que tenga alto contenido de carbono y que sea de lenta degradación como la madera.

- **Oxígeno**

Al ser el proceso de compostaje aerobio, se deberá mantener una adecuada aireación, para que de esta manera se facilite la respiración de los microorganismos y se libere dióxido de carbono a la atmósfera.

El rango ideal de porcentaje de aireación es entre el 5% al 15%; cuando se presenta baja aireación (<5%), se genera un exceso de humedad y un ambiente de anaerobiosis; por el contrario, si se presenta una aireación alta (>15%), desciende la temperatura y la evaporación del agua, lo que causaría que el proceso de descomposición se detenga.

- **Tamaño de partícula**

El tamaño de las partículas se relaciona con la actividad microbiana; es decir, con la facilidad de acceso al sustrato.

El rango ideal de las partículas es entre los 5 y 30 cm. Tener partículas mayores a 30 cm, generaría un exceso de aireación, por lo que bajaría la temperatura y el proceso se volvería lento. Mientras que, tener partículas menores a 5 cm, haría que el material se compacte, el flujo de aire se restringe y se produce anaerobiosis.

En la Tabla 2 se muestra un resumen de los rangos de cada parámetro según sus fases.

Tabla 2. Parámetros durante el proceso

Parámetro	Rango ideal al comienzo (2-5 días)	Rango ideal para compost en fase termófila II (2- 5 semanas)	Rango ideal de compost maduro (3-6 meses)
C:N	25:1 -35:1	15/20	10:1 - 15:1
Humedad	50% - 60%	45%-55%	30% - 40%
Concentración de oxígeno	~ 10%	~ 10%	~ 10%
Tamaño de partícula	<25 cm	~ 15 cm	<1,6 cm
pH	6,5 - 8,0	6,0 - 8,5	6,5 - 8,5
Temperatura	45 - 60°C	45°C-Temperatura ambiente	Temperatura ambiente
Densidad	250-400 kg/m ³	< 700 kg/m ³	<700 kg/m ³
Materia Orgánica (Base seca)	50% - 70%	>20%	>20%
Nitrógeno (Base seca)	2,5 - 3%	1-2%	~ 1%

Fuente: Román, Martínez, & Pantoja (2013)

2.3.2 Fases del proceso de compostaje

Las fases del proceso de compostaje se reconocen según las variaciones de temperatura generada a lo largo del tiempo (Román, Martínez, & Pantoja, Manual de compostaje del agricultor, 2013).

Según Román, Martínez y Pantoja (2013), durante el proceso de compostaje se dan cuatro fases, estas son:

- **Fase mesófila**

Es el inicio del proceso de compostaje, en esta fase la materia orgánica inicia a temperatura ambiente y llega a alcanzar una temperatura de 45°C, esto debido a que los microorganismos generan calor al utilizar el carbono y nitrógeno.

La descomposición de solubles (azúcares) produce ácidos orgánicos, lo que ocasiona que el pH descienda entre 4 a 4.5.

La fase mesófila tiene una duración aproximada de dos a ocho días.

- **Fase termófila o de higienización**

En esta fase, la temperatura supera los 45°C y los microorganismos mesófilos suelen ser reemplazados por bacterias termófilas, y; especialmente a los 60°C aparecen bacterias que producen esporas y antinobacterias, quienes facilitan la descomposición de fuentes complejas de carbono como ceras y hemicelulosas.

Esta fase también recibe el nombre de higienización, debido a que se destruyen contaminantes de origen fecal como *Escherichia coli* y *Salmonella spp*, también se eliminan quistes, huevos de helminto, esporas de hongos y semillas de maleza. Todo esto, debido al aumento de temperatura.

En cuanto al pH, éste incrementa porque los microorganismos transforman el nitrógeno en amoníaco.

La fase termófila suele durar entre una a tres semanas, esto dependerá del material inicial.

- **Fase de enfriamiento o mesófila II**

En esta fase la temperatura regresa a los 40-45°C porque se agotan las fuentes de carbono y nitrógeno, los polímeros siguen degradándose, aparecen hongos y los organismos mesófilos reinician su actividad. Generalmente el pH se encontrará ligeramente alcalino.

Esta fase puede durar entre dos y cinco semanas.

- **Fase de maduración**

Esta fase se mantiene a temperatura ambiente, ocurren reacciones secundarias de degradación, se producen ácidos húmicos y fúlvicos.

La duración de la fase de maduración tiende a ser entre tres y seis meses.

2.3.3 *Sistemas de compostaje*

Los sistemas de compostaje son usados para transformar la materia orgánica en compost. Existen varios tipos, se usa el que mejor se adecue dependiendo de los diferentes factores; como: clima, tipo de residuo, disponibilidad de terreno; entre otros (Mendoza M., 2012).

Los sistemas de compostaje se clasifican en:

Sistemas abiertos o pilas de compostaje

Los sistemas abiertos se caracterizan por colocar la materia orgánica en montones, apilar, pero sin comprimir mucho con la finalidad de retener el aire (Mendoza M., 2012).

Se identifican los siguientes tipos:

- **Pilas estáticas**

Se distinguen dos tipos de pilas estáticas: con aireación forzada y con aireación pasiva. Como se puede observar en la Figura 7.

Las pilas con aireación forzada (aire a presión), aportan oxígeno por varias vías; ya sea por succión o por insuflado, puede realizarse de forma continua o por intervalos de tiempo.

Las pilas con aireación pasiva (aspiración de aire) emplean estructuras que facilitan el flujo del aire desde la parte inferior hasta la parte superior de la pila.

El aire caliente sube desde el centro de la pila creando un vacío parcial, por lo que los lados laterales aspiran ese aire (Junta de Andalucía, 2021).

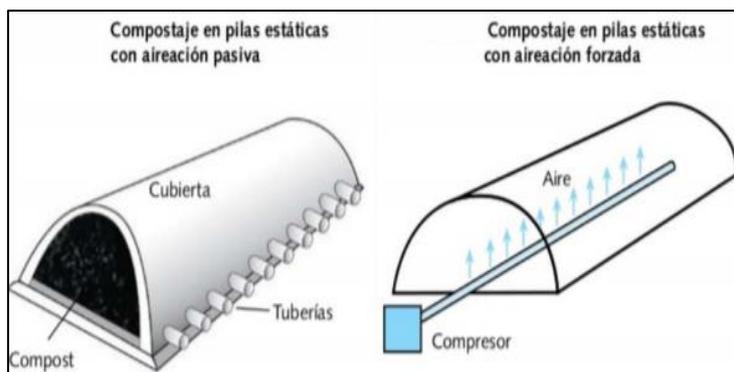


Figura 7. Pilas estáticas
Fuente: Cachay (2018)

- **Pilas dinámicas**

El proceso se realiza removiendo (volteando) la pila, para que de esta manera se consiga homogenizar la mezcla, eliminar exceso de calor, controlar la humedad, y mejorar la ventilación. La frecuencia con la que se realiza suele ser cada 6 a 10 días, pero, esto dependerá de la humedad, el tipo de residuo y la rapidez con la que se desea llevar a cabo el compostaje (Junta de Andalucía, 2021). En la Figura 8 se muestra las formas de la pila que puede adaptarse a este tipo.

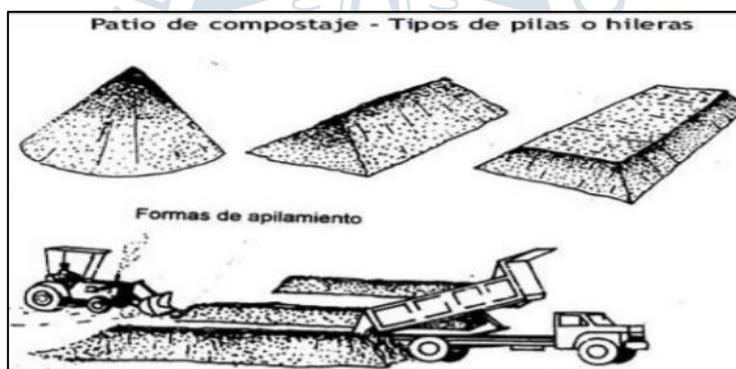


Figura 8. Pilas dinámicas
Fuente: Cachay (2018)

Sistemas cerrados o reactores

Estos sistemas se caracterizan por usar reactor o digestor, lo que permite acelerar el proceso de compostaje. Son sistemas ideales para usar cuando no se dispone de espacio y se desea compostar la misma cantidad de volumen, además, permiten asegurar un mejor control de la temperatura, del oxígeno y los olores durante el proceso.

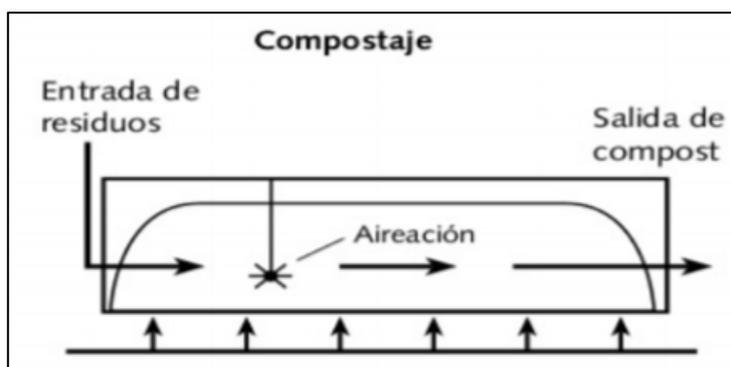


Figura 9. Sistema cerrado

Fuente: Cachay (2018)

2.3.4 Metodología que puede emplearse en el proceso de compostaje

Es necesario conocer la metodología que se emplea en el proceso de compostaje, para esto se describirá la materia prima que puede ser usada en el proceso, así como también la ubicación y dimensionamiento de las pilas de compostaje.

2.3.4.1 Descripción de materia prima. Dado que el compost servirá como alimento a las lombrices, en este caso, a la lombriz *Eisenia Foetidia* es importante conocer los residuos orgánicos que pueden usarse en el proceso. El manual técnico: *Lombricultura "Techo a dos aguas"* (2013), menciona la materia prima básica que podría usarse para obtener un mejor alimento. Estos son:

- **Estiércol:** El estiércol es considerado un alimento fundamental para las lombrices, es rico en nitrógeno. Para usarlo en el proceso de compostaje, el estiércol no debe contener contaminantes ni partículas como tierra, arena, entre otros, y es mejor no usarlo fresco por ser muy alcalino, por lo que, dañaría a las lombrices.
- **Rastrojos:** Son ricos en celulosa, lignina y azúcares. Se recomienda usar rastrojos leguminosos por tener alto contenido de nitrógeno y usarlos frescos para aprovechar su contenido de humedad. Puede usarse:
 - Broza y bagazo de caña de azúcar: Para usarlo en el proceso y favorecer su descomposición debe picarse antes del proceso.
 - Puño de algarroba: Se obtiene de la defoliación de las hojas del algarrobo.
 - Papel y cartón: No debe tener contenido de tinta alguna.
 - Paja: Se debe triturar y remojar. Ayuda a la circulación del aire.
 - Césped y hierbas: Se debe triturar
 - Viruta de aserrín: Debe conocerse su fuente, el aserrín debe provenir de madera no tratada.
- **Agua:** Se recomienda usar agua sin sales.

El Manual de compostaje del agricultor (2013), considera también:

- Restos orgánicos de cocina como frutas y hortalizas, cáscara de huevo; de frutos secos, restos de café, té.

Lo que no debe usarse son:

- Residuos químicos – sintéticos
- Residuos no biodegradables
- Restos de alimentos cocinados

2.3.4.2 Descripción del proceso. Se relaciona con la manera en la que se ubican las pilas, así como, su dimensionamiento.

- **Ubicación de pilas**

Según el informe Manual de Procesos en la Planta de Compostaje, se recomienda que las pilas deben estar ubicadas paralelamente (ver Figura 10), de acuerdo con las fases del proceso, para facilitar su traslado y para tener espacio suficiente para remover el material (Universidad ICESI - EPRODESA ONG, 2017).

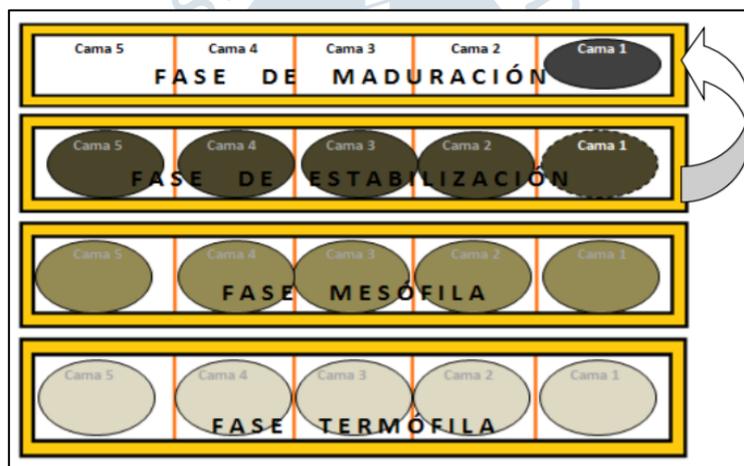


Figura 10. Ubicación de pilas según las fases del proceso
Fuente: Universidad ICESI – EPRODESA ONG (2017)

Por otro lado, el Manual de compostaje del agricultor- experiencias en América Latina, propone la ubicación de pilas según su número, con la finalidad de facilitar el modo con el que se realizarán los volteos y optimizar el espacio (Román, Martínez, & Pantoja, Manual de compostaje del agricultor, 2013).

- Una pila: Si se tiene una pila, se recomienda utilizar un espacio para realizar el volteo. Como se muestra en la Figura 11).

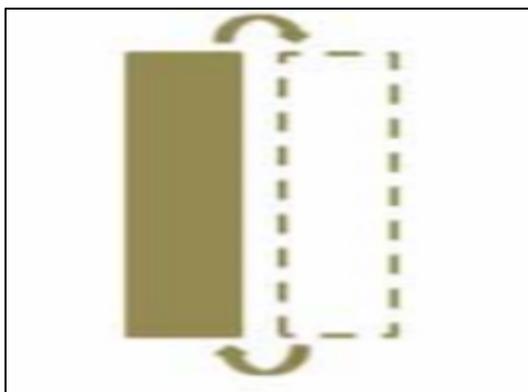


Figura 11. Ubicación de una pila

Fuente: Román, Martínez & Pantoja (2013)

- Dos pilas: Se sugiere dejar un espacio en medio de ambas pilas, para realizar el volteo, alternando cada pila. Así como se muestra en la Figura 12.

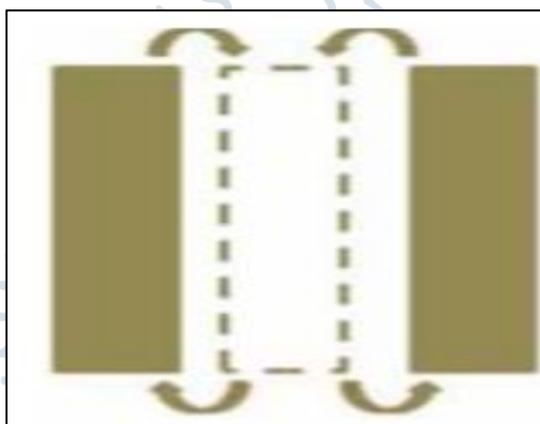


Figura 12. Ubicación de dos pilas

Fuente: Román, Martínez & Pantoja (2013)

- Tres pilas a más: Se deja un espacio al final de las pilas, en ese espacio se realiza el volteo de la pila que está al costado del espacio que se dejó, y conforme se va avanzando va quedando el espacio para realizar el volteo de las pilas siguientes (Ver Figura 13).

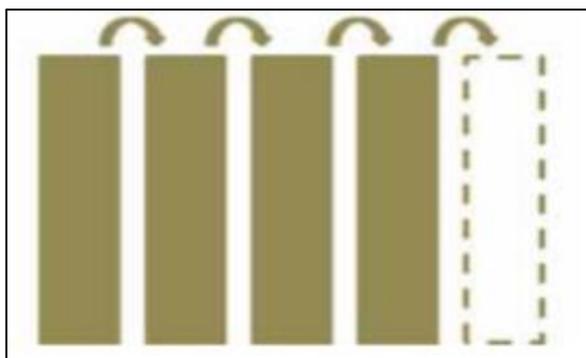


Figura 13. Ubicación de tres a más pilas

Fuente: Román, Martínez & Pantoja (2013)

- **Dimensiones de pilas**

No hay dimensiones estandarizadas para las pilas, sin embargo, sus dimensiones pueden estar en función de la cantidad de materia prima y del área con el que se dispone. Normalmente, la altura de las pilas se encuentra entre 1.5 y 2 m cuando la aireación es natural, puesto que, al sobrepasar estos valores el proceso podría volverse anaeróbico, pero si se trata de una aireación artificial la altura máxima podría ser entre 2.5 a 3 m (Roben, 2002).

Con respecto al ancho, podría tomar los valores entre 1.5 y 3 m, mientras que, para el largo podría tomar cualquier valor dependiendo del área disponible para compostar (Román, Martínez, & Pantoja, Manual de compostaje del agricultor, 2013).

2.4 Lombricultura

La lombricultura se basa en la crianza técnica de lombrices de tierra para producir estiércol de lombriz o humus de lombriz, para esto, es necesario realizar la técnica de compostaje que consiste en la descomposición de materia orgánica, para luego usarlo como alimento para las lombrices y de esa manera puedan desarrollarse y reproducirse (Ruesta, 2013).

El humus de lombriz es una fuente de proteína, el cual permite mejorar la fertilidad del suelo y evitar el uso de fertilizantes y plaguicidas (Ruesta, 2013).

2.4.1 Lombriz: *Eisenia Foetida*

Eisenia Foetida se caracteriza por tener un cuerpo parecido a una cadena formada por anillos, siendo el anillo más grande el que contiene los órganos reproductivos (clitelo). Esta lombriz es hermafrodita (contiene los dos sexos), pero para su reproducción se necesita de dos lombrices. Inician su periodo reproductivo entre los 3 y 4 meses, se unen dos clitelos y producen huevos llamados Capullos o también Cocos o Cocun, los cuales en sus inicios son de color amarillo transparente y a medida que se desarrollan se tornan de color café, cada Capullo puede tener entre 2 a 12 lombrices y nacen a los 21 días (Ruesta, 2013).

Las lombrices recién nacidas suelen tener 1 mm de longitud y en su etapa adulta puede llegar a tener 3 cm de largo, cuando cumplen los 7 meses llegan a su peso y tamaño final, siendo de 1g y de 7 a 8 cm de largo, en promedio pueden vivir 10 años (Ruesta, 2013). En la Figura 14 se muestra el ciclo reproductivo de la lombriz.

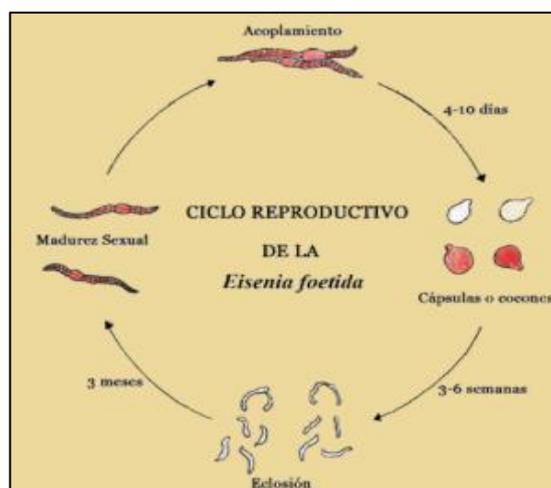


Figura 14. Ciclo reproductivo de la lombriz *Eisenia Foetidia*
Fuente: Ruesta (2013)

2.4.2 Parámetros durante el proceso

Siendo las camas el lugar en el que se desarrollan las lombrices, es necesario que se mantengan los siguientes parámetros: (Ruesta, 2013).

- **Humedad:** Lo máximo que podría permitirse es entre el 70 a 80%, ya que las lombrices respiran por su piel y tener un porcentaje alto de humedad impediría su respiración.
- **Temperatura:** Podría encontrarse entre los 20 y 30 °C.
- **pH:** Se tolera valores entre 6.5 y 7.5
- **Luz:** Se prefiere un ambiente oscuro

2.4.3 Metodología que puede emplearse en el proceso de lombricultura

Las camas se construyen para el proceso de lombricultura, es en ellas donde se alojarán y crecerán las lombrices. Estas camas pueden ser construidas de diferentes tamaños y de diversos tipos de material, sin embargo, se recomienda que tengan una profundidad entre 50 a 60 cm (debido a que las lombrices buscan alimento hasta una profundidad de 40 cm), y de 1m ancho. Así mismo, es importante que las camas estén protegidas de la lluvia, la luz solar y de temperaturas muy bajas (Román, Martínez, & Pantoja, Manual de compostaje del agricultor, 2013).

El sustrato puede estar constituido en las siguientes proporciones, dependiendo de: si se emplea una mezcla de suelo con materia orgánica fresca, la proporción puede ser de 3:1 respectivamente, mientras que, si se emplea materia orgánica compostada con material fresco, la proporción puede ser entre 2:1 respectivamente. Por otro lado, se recomienda colocar en las camas al menos 1 kg de lombriz por metro cuadrado (Román, Martínez, & Pantoja, Manual de compostaje del agricultor, 2013).

2.5 Equipos y/o herramientas en un proceso mecanizado

El proceso de compostaje podría realizarse de manera mecanizada, para esto, los equipos y/o herramientas que podrían usarse son:

- **Tolva de recepción:** La tolva se usa con el propósito de depositar los residuos orgánicos que han sido recolectados, para posteriormente, seleccionar la materia orgánica que va a compostarse. Ver Figura 15.



Figura 15. Tolva

Fuente: AZ3 OENO (s.f.)

- **Criba tambor:** Se utiliza con el fin de clasificar los residuos orgánicos por tamaño, separando de esta manera residuos inorgánicos que estén presentes como: vidrio, plástico, metal, entre otros. Esto, debido a que tienen dos corrientes de flujo, los residuos de menor tamaño caen por la parte inferior de la máquina, mientras que las que son de mayor tamaño que el diámetro de los orificios de sus rejillas van hacia la parte superior de la máquina. Ver Figura 16.

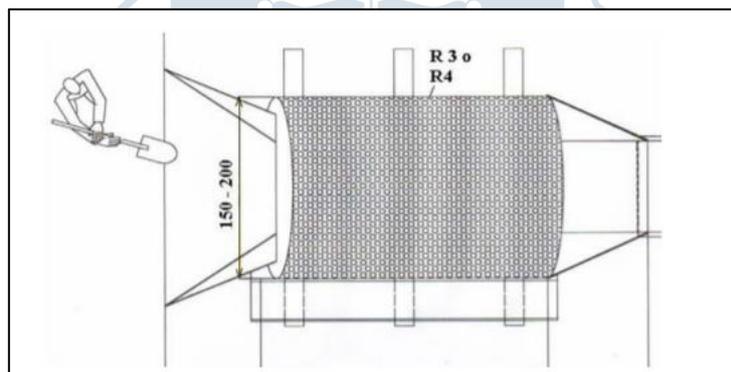


Figura 16. Criba tambor

Fuente: Roben (2002)

- **Molino con tornillo sin fin:** Servirá para trozar la materia orgánica, pero debido a que el material es húmedo y blando se recomienda usar troceadores de baja velocidad (<400 rotaciones/min) (Roben, 2002). Ver Figura 17.

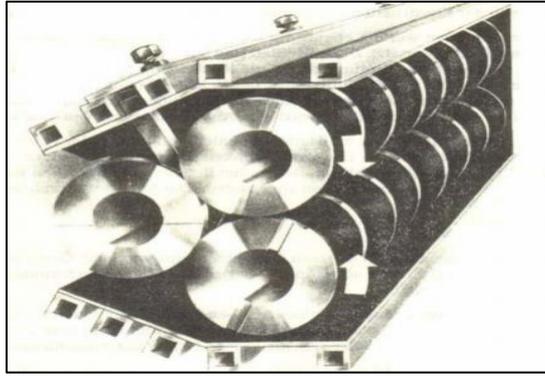


Figura 17. Molino de tornillo sin fin
Fuente: Roben (2002)

- **Separador balístico:** Sirve para separar los materiales y clasificarlos según su tamaño, densidad y forma. Ver Figura 18.

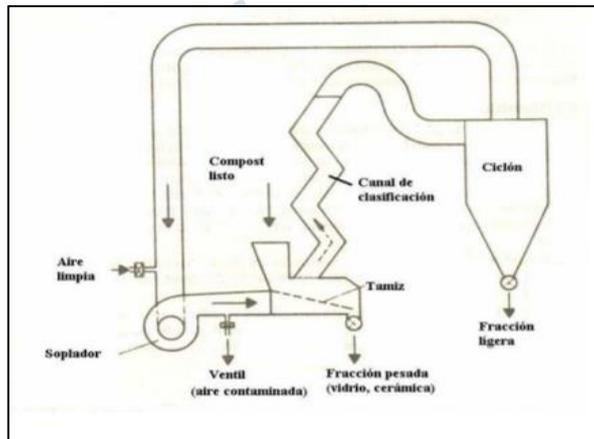


Figura 18. Separador balístico
Fuente: Roben (2002)

- **Tamiz vibratorio:** Se usa para separar las partículas gruesas de las finas. Esto se realiza al finalizar el proceso de compostaje. Ver Figura 19.



Figura 19. Tamiz vibratorio
Fuente: Cachay (2018)

Capítulo 3

Análisis de elaboración de humus

En este capítulo se realizará el proceso para obtener humus; para esto, se llevará a cabo el proceso de compostaje y luego el proceso de lombricultura. La principal finalidad de realizar el proceso de producción es para establecer el control de los principales parámetros físicos y/o químicos que se necesitan monitorear para no afectar la calidad del producto, y para realizar la estimación del producto obtenido.

3.1 Proceso de compostaje

El compost será elaborado de manera manual, a continuación, se detalla el proceso:

- **Recepción de residuos**

Una vez obtenidos los residuos orgánicos; generados del mantenimiento de las áreas verdes y del camal municipal, son trasladados y almacenados en el vivero municipal.



Figura 20. Recepción de residuos orgánicos

- **Selección de residuos**

Teniendo los residuos orgánicos en el vivero municipal, se procede a llevar a cabo el proceso de compostaje. Se trabajará con diferentes tipos de materia prima, teniendo presente los residuos orgánicos que podrían ser empleados, tal como se menciona en el apartado 2.3.4.1 y, considerando la disponibilidad de estos residuos en la ciudad. Se seleccionaron los siguientes residuos como materia prima: estiércol animal, restos de poda de jardines, hojarasca de algarrobo, ramillas de algarrobo y paja de arroz. Como se observa en la Figura 21, Figura 22, Figura 23 y Figura 24.



Figura 21. Estiércol



Figura 22. Paja de arroz



Figura 23. Poda



Figura 24. Hojarasca y ramillas de algarrobo

- **Pesado**

Para realizar el proceso de compostaje se ha determinado, construir una pila con 100 kg de materia orgánica, utilizando las cantidades mostradas en la Tabla 3. Estas cantidades se han determinado, tomando como referencia un estudio realizado en la tesis:

Propuesta de compostaje de los residuos vegetales generados en la Universidad de Piura (Mendoza M. , 2012).

Tabla 3. Cantidad de materia prima

Residuos orgánicos	Cantidad (kg)
Estiércol animal (vacuno, ovino-caprino, porcino y equino)	30
Hojasca de algarrobo	35
Ramilla de algarrobo	15
Restos de poda (césped)	15
Paja de arroz	5
Total	100

Para pesar los residuos según las cantidades mostradas en la tabla anterior, se utilizó una balanza romana como se muestra en la Figura 25.



Figura 25. Pesado de residuos orgánicos

- **Trituración**

Los restos de poda de jardines, la paja de arroz y las ramillas de algarrobo son triturados con la ayuda de una palana y un machete, con la finalidad de disminuir su tamaño. Ver Figura 26.



Figura 26. Trituración

- **Compostaje**

Para realizar el proceso se empleará una pila dinámica, según lo indicado en el apartado 2.3.4.2, para llevarla a cabo se recomienda dejar un espacio al costado de su ubicación, para realizar los respectivos volteos.

Antes de colocar la pila, se humedeció el terreno. Ver Figura 27.



Figura 27. Ubicación de pila

Para construir la pila (Ver Figura 28), se colocaron los residuos por capas. Primero se colocó 20 kg de estiércol, luego se agregó la hojarasca y ramilla de algarrobo, después, se añadió los restos de poda y la paja de arroz, finalmente, una capa de estiércol de 10 kg. La dimensión de la pila es aproximadamente de 1 m²



Figura 28. Construcción de pila

Construida la pila, se procede a regarla, con esto se da inicio al proceso de compostaje.



Figura 29. Regado de pila

Luego, se procedió a colocar en medio de la pila un tubo de PVC de 4 pulgadas con agujeros de 2 cm de diámetro, con el objetivo de expulsar los gases de amoníaco.



Figura 30. Tubo de PVC con agujeros



Figura 31. Colocación del tubo en la pila

Se realizó la medición de los parámetros de: temperatura, pH y humedad. En el apartado 3.1.1 se especificarán los valores en cada fase.

A medida que el proceso de compostaje avanza, se voltea la pila. Esto se realizó cada 4 días (según sugerencia del operario del proceso de compostaje), con la finalidad de lograr una descomposición uniforme de la materia orgánica.



Figura 32. Volteo de la pila

Para demostrar que el compost ya está listo para ser alimento de las lombrices, se realizó la prueba de sobrevivencia de lombrices, que consiste en colocar el compost en un recipiente de botella de 3 litros, cortado a la mitad, teniendo consigo agujeros, para luego introducir un aproximado de 50 lombrices exponiéndolas a la luz del sol. Si las lombrices se introducen rápidamente en el alimento y se mantienen sin salir a la superficie, después de pasar unos minutos, es decir, las lombrices no salen de la botella, significa que el compost ya está listo.



Figura 33. Prueba de sobrevivencia

Terminado el proceso de compostaje, el compost es pesado para conocer la variación en masa del producto final. Esto se explica a detalle en el apartado 3.3.



Figura 34. Pesado de compost

3.1.1 *Control de parámetros durante el proceso de compostaje*

En las fases del proceso de compostaje, se realizó el control de los parámetros físicos y/o químicos, se ha considerado: humedad, pH, temperatura y el aspecto físico del compost.

La fase Mesófila tuvo una duración aproximada de una semana, los parámetros se midieron por dos días. Seguidamente, las fases Termófila, Mesófila II y Maduración duraron aproximadamente, 2 semanas cada una; midiendo los parámetros dos veces por semana.

Cabe señalar que el proceso de compostaje tuvo una duración de aproximadamente 2 meses. A continuación, se detalla los valores de los parámetros:

- **Temperatura**

Para medir la temperatura, se utilizó dos termómetros analógicos para suelos. Tienen temperatura hasta 200°C, uno de ellos es de 13 cm y el otro de 31 cm de largo. Como se puede observar en la Figura 35.



Figura 35. Termómetros analógicos

En la Tabla 4 se muestra los valores de referencia de la temperatura por cada fase.

Tabla 4. Referencia de temperatura

	Mesófila	Termófila	Mesófila II	Maduración
Referencia de temperatura (°C)	15 - 40	40 - 65	60 - 45	Temperatura ambiente

Fuente: Román, Martínez y Pantoja (2013)

La fase mesófila da inicio al proceso de compostaje, para la medición de la temperatura, se tomó como referencia la temperatura ambiente registrada en la ciudad de Chulucanas el día 28 de febrero del 2021, la cual fue de 35 °C. En la fase Termófila, se registró temperaturas en un rango de 48° a 65° C; seguidamente comenzó la fase Mesófila II, en la cual la temperatura osciló entre 43°C a 46°C. Por último, el producto entra a la etapa de maduración donde los termómetros indican que la temperatura del compost es de 37 °C (aproximadamente la misma temperatura registrada el inicio del proceso). Cabe resaltar que los resultados de temperatura de cada una de las fases que se tomaron están dentro de los parámetros de la Tabla 4.

En la Tabla 5 , se muestran las figuras de la temperatura registrada en cada fase.

Tabla 5. Temperatura registrada en cada fase

Fase mesófila	Fase termófila
	
Fase mesófila II	Fase de maduración
	

- **pH**

Para medir el pH, se mezcló en un recipiente compost y agua en una proporción de 1:5 en volumen respectivamente, para luego introducir la tira indicadora y leer el pH del compost a través del color (Román, Martínez, & Pantoja, 2013).

Se adquirió tiras indicadoras similares a las que se muestra en la Figura 36, el color que se muestre luego de hacer el procedimiento mencionado anteriormente indicará el número del pH.



Figura 36. Indicador de pH
Fuente: Laboquímica (2021)

En la Tabla 6, se presenta los valores de referencia de pH en cada fase.

Tabla 6. Referencia de pH

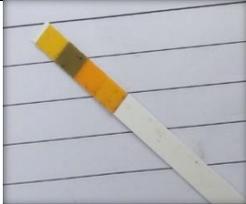
	Mesófila	Termófila	Mesófila II	Maduración
Referencia de pH	4 hasta 6	8 hasta 9	7 hasta 8	6 hasta 8

Fuente: Román, Martínez y Pantoja (2013)

La fase mesófila da inicio al proceso de compostaje, la primera evaluación realizada con el indicador dio como resultado; 6 de pH, el cual da entender que el compost es ácido, luego el producto pasa a la fase Termófila, Mesófila II y Maduración donde se registra un pH neutro (pH igual a 7) en cada una de las fases. Cabe resaltar que los resultados de pH de cada una de las fases que se tomaron están dentro de los parámetros de la Tabla 6.

En la Tabla 7, se muestra las figuras del pH medido en cada fase.

Tabla 7. pH registrado en cada fase

Fase mesófila	Fase termófila
	
Fase mesófila II	Fase de maduración
	

- **Humedad**

Se determina usando la técnica llamada “Puño” para realizarlo, se cogió un puñado de la materia orgánica en descomposición, de tal manera que, al abrir la mano el material quede apelmazado, sin escurrir agua (Román, Martínez, & Pantoja, 2013).

En la Tabla 8, se presenta los valores de referencia de humedad, que ayudará a ver en qué fase se encuentra el compost.

Tabla 8. Referencia de humedad

Referencia de humedad	Mesófila	Termófila	Mesófila II	Maduración
	Variable dependiendo de la humedad de entrada, entre 30 – 60%			

Fuente: Román, Martínez y Pantoja (2013)

La fase mesófila da inicio al proceso de compostaje, para la primera medición se considera una humedad del 60%, puesto que, para dar inicio al proceso es necesario humedecer lo más posible la pila, luego el producto pasa a la fase Termófila donde se registra una humedad del 50%. Seguidamente empieza la fase Mesófila II, en el cual se siguió usando la técnica del puño donde se estimó que la humedad se encuentra en un 40%. Por último, el producto entra a la etapa de maduración donde al realizar la técnica, el compost se quedó muy apelmazado en la mano, y casi no se escurría agua, estimando un porcentaje de humedad del 40% al igual que la fase anterior, cabe resaltar que los resultados de humedad de cada una de las fases que se tomaron están dentro de los parámetros de la Tabla 8.

En la Tabla 9, se muestra las figuras de la humedad medida en cada fase.

Tabla 9. Humedad registrada en cada fase

Fase mesófila	Fase termófila
	
Fase mesófila II	Fase de maduración
	

- **Aspecto visual**

Se determinará usando las referencias dadas en la Tabla 10. Es una forma muy rápida, de conocer en qué fase se encuentra el proceso.

Tabla 10. Referencia de aspecto visual

	Mesófila	Termófila	Mesófila II	Maduración
Referencia de aspecto visual				

Fuente: Román, Martínez y Pantoja (2013)

En la Tabla 11, se muestra las figuras del aspecto visual de la pila en cada fase.

Tabla 11. Aspecto visual de la pila en cada fase

Fase mesófila	Fase termófila
	
Fase mesófila II	Fase de maduración
	

3.2 Proceso de lombricultura

Finalizado el proceso de compostaje, se procede a realizar el proceso de lombricultura.

- **Construcción de cama**

Se procedió a realizar la construcción de la cama, utilizando tabloncillos de madera con la finalidad de que no se disperse el alimento de las lombrices (compost). La dimensión de la cama fue la siguiente: altura 50 cm, ancho 1 m y largo 1.5 m. En la Figura 37 se muestra la cama para lombrices construida.



Figura 37. Construcción de cama para lombrices

- **Colocación de compost en la cama**

Una vez construida la cama se procedió a humedecer la superficie del suelo con la finalidad de lograr que la tierra no se mezcle con el alimento, seguidamente se colocó el compost en la cama. Ver Figura 38.



Figura 38. Colocación de compost en la cama

- **Sembrado de lombrices**

Después del llenado de la cama se procedió a introducir un aproximado de 2 000 lombrices. Las lombrices se alimentan del compost colocado en la cama, de esta manera se inicia la producción de humus. Ver Figura 39.



Figura 39. Sembrado de lombrices

- **Regado**

El regado de la cama se realiza cada 4 días con la finalidad de hidratar a las lombrices. Ver Figura 40.



Figura 40. Humedecimiento a la cama

- **Recuperación de lombrices**

La recuperación de lombrices es una labor que se da cuando el humus ya está listo, es decir cuando las lombrices suben a la superficie porque no tienen alimento en el fondo ni en los alrededores de la cama.

Este proceso consiste en colocar una pequeña capa de compost en la superficie del humus, con el fin de que las lombrices que se encuentran dispersas en el fondo salgan a la superficie en busca de alimento, para así poderlas recuperar. Ver Figura 41.



Figura 41. Recuperación de lombrices

- **Secado**

Antes de realizar la operación de tamizado, el producto se dejó en la cama aproximadamente 5 días, para disminuir el porcentaje de humedad.

- **Tamizado**

El tamizado es el proceso final de la elaboración del humus, en este proceso, se separan las impurezas: arena, palos o cualquier otro tipo de merma que puede quedar de procesos anteriores.

Se obtiene un producto fino, sin grumos, homogéneo y de muy buena calidad. Para realizar este proceso se utilizó una malla tamizadora o coladora y una pequeña tabla, la

cual sirvió para remover el producto y no tener contacto directo con el humus, evitando cualquier tipo de daños en las manos, como se muestra en la Figura 42.



Figura 42. Tamizado de humus

- **Pesado**

Por último, el humus es pesado en sacos de 50 kg utilizando una balanza de 300 kg. Ver Figura 43.



Figura 43. Pesado de humus

3.2.1 Control de parámetros durante el proceso de lombricultura

Siguiendo lo indicado en el apartado 2.3.1, se controló los parámetros durante el proceso de lombricultura.

- **Temperatura**

Al realizar las mediciones de temperatura, todas indicaban un valor entre 25°C hasta 35 °C. Ver Figura 44.



Figura 44. Temperatura de humus

- **pH**

La tira indicadora de pH, mostraba un valor de pH igual a 7, durante todo el proceso. Ver Figura 45.

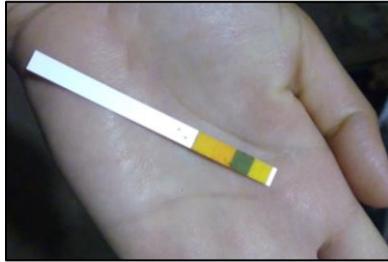


Figura 45. pH de humus

- **Humedad**

La cama se regaba cada 4 días (según la sugerencia del trabajador operativo del proceso). Se cuidó, en no agregar mucha cantidad de agua (usando la técnica del puño y monitoreando la cama) para que las lombrices puedan respirar.

- **Luz**

La cama se cubrió con malla Raschel de color verde.

Se pudo corroborar que, tanto la temperatura como el pH tuvieron valores constantes durante todo el proceso.

3.3 Estimación del producto obtenido

Después de realizar todo el proceso para obtener humus, se estima específicamente el compost obtenido al final del proceso de compostaje, así como también el humus obtenido al final del proceso de lombricultura.

Antes que los residuos sean compostados, los residuos de mayor tamaño, en este caso, los residuos provenientes del mantenimiento de las áreas verdes (ramilla de algarrobo, césped y paja de arroz) se trituraron usando una palana y un machete. La cantidad de cada uno de estos residuos fue la misma después de triturarlos. Por lo que, para esta operación se considera que la cantidad de entrada es la misma a la cantidad de salida, lo mismo puede considerarse si se usase una máquina trituradora, pues en esta operación solo hay un cambio físico de los residuos (reducción del tamaño de los materiales).

Una vez que los residuos han sido triturados, se procede a realizar el proceso de compostaje (descomposición aeróbica de residuos), para el cual se forma la pila con los materiales elegidos y en las cantidades señaladas, adicionando agua.

En la Figura 46, se observa los elementos que ingresan al proceso de compostaje, así como los que salen. Sabiendo que es un sistema abierto, en el que además de ingresar la materia prima y el agua manualmente, ingresa oxígeno; y sale dióxido de carbono, color

y amoníaco al medio ambiente; obteniéndose compost con un porcentaje de humedad del 40%.

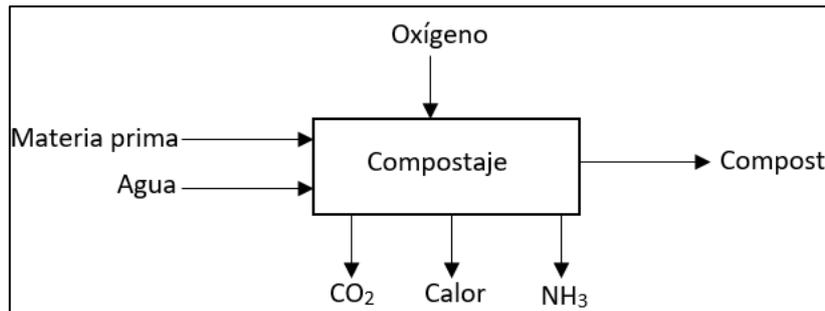


Figura 46. Elementos de entrada y salida en el compostaje

La materia prima que ingresó al proceso fue de 100 kg, y finalmente se obtuvo 150 kg de compost, esto, por el porcentaje de humedad, el cual fue aproximadamente del 40 %.

Posteriormente, en el proceso de lombricultura ingresó todo el compost obtenido, aquí también se adicionaba agua. Finalizado el proceso de lombricultura, se pesó el humus antes de ser secado, obteniéndose 115 kg.

Después de realizar la operación unitaria de secado, el producto fue pesado y se obtuvo 85 kg de humus.

Después de realizar la operación de secado, se procede a tamizar. Finalizado la operación de tamizado, se obtuvo una merma de 18 kg, esta cantidad corresponde a ramillas que no fueron degradadas, también se observó una cantidad de arena (probablemente cuando se mezcló la hojarasca del algarrobo), entre otros.

Finalmente, la cantidad obtenida de producto final (humus) fue de 67 kg. Se puede decir entonces, que, de 100 kg de materia prima, aproximadamente el 30 % de este, se pierde durante todo el proceso.

Capítulo 4

Propuesta de mejora

En el presente capítulo, se diseña el proceso de producción de humus semi mecanizado, se determina la capacidad de producción y la maquinaria y/o equipos necesarios, así como la mano de obra directa. Además, se realiza la disposición de planta y se elige su localización.

4.1 Diseño del proceso

El proceso de compostaje propuesto para la planta de producción de humus será un proceso semi mecanizado, ya que se desea mejorar el proceso de producción, con la finalidad de aumentar como mínimo en un 10 % la cantidad de humus producido y realizarlo en el tiempo estimado.

Para obtener compost, se seguirá usando el sistema abierto del tipo pilas dinámicas, pero, a mayor escala. Para obtener el producto final (humus) se utilizará la técnica de lombricultura, el cual se basa principalmente en alimentar la lombriz *Eisenia Foetida* (roja californiana) con el compost obtenido anteriormente.

4.1.1 Descripción de etapas del proceso

El proceso de producción de humus involucra las siguientes etapas:

- **Recepción de residuos**

Los residuos obtenidos de las diferentes fuentes de generación (domicilios, camal municipal y de parques de la ciudad), serán llevados a la planta de compostaje, para posteriormente ser depositados en áreas de descarga, separados según su fuente de generación.

- **Selección de residuos orgánicos**

Con la finalidad de eliminar residuos no biodegradables que aún estén presentes, como: plástico, vidrio, metal, entre otros, se procede a seleccionar los residuos manualmente. Esto permitirá mejorar la calidad del producto final, porque solo entrará al proceso la materia orgánica apta para el producto, lo demás será desechado.

- **Trituración**

Los residuos de tamaño grande como los de poda y césped deberán ser trozados usando una trituradora.

- **Pesado**

Una vez triturados los residuos orgánicos, se pesan usando una balanza industrial según su fuente de generación, con el objetivo de controlar la cantidad necesaria de cada tipo de residuo que ingresará al proceso.

- **Compostaje**

Para realizar el proceso de compostaje, se determinará la ubicación, composición y dimensión de las pilas, colocando cada tipo de residuo orgánico por capas.

En la planta de producción, además de recibir los residuos orgánicos del camal municipal y de los parques y jardines, se recibirá los residuos orgánicos provenientes de los domicilios (frutas y verduras). En base al procedimiento de producción de humus realizado en el capítulo 3 y considerando los residuos orgánicos de los domicilios, se sugiere colocar las siguientes proporciones de cantidades de materia prima en una pila (Ver Tabla 12).

Tabla 12. Proporción de cantidad de materia prima en una pila

Residuo orgánico	Cantidad (%)
Estiércol de animal (vacuno, ovino-coprino y porcino)	25
Restos vegetales (hojarasca y ramillas de algarrobo, restos de poda, entre otros)	45
Residuos domiciliarios (frutas y verduras)	30

Las dimensiones de la pila se determinarán en el apartado 4.5.4. En todo el proceso de compostaje, además de monitorear los parámetros físicos- químicos tales como temperatura, pH, humedad, entre otros, se deberá realizar las siguientes operaciones:

- **Mezclado/volteado y aireado:** Se procede a realizar los volteos a la pila de compostaje, con la finalidad de adicionar oxígeno. Esta operación, se realizará con una máquina aireadora – volteadora.
- **Regado:** El agua se adicionará a las pilas usando una manguera, con la finalidad de suministrar la cantidad necesaria a la pila de compostaje (controlando la humedad en cada fase del proceso).

- **Lombricultura**

Para llevar a cabo el proceso de lombricultura, se necesitará construir las camas, las cuales servirán de alojamiento para las lombrices. Las camas tendrán forma rectangular (sus dimensiones se detallan en el apartado 4.5.4) estarán construidas de madera y cubiertas por malla Raschel de color verde.

- **Llenado de camas:** Una vez que el compost se encuentra listo, es transportado hacia las camas, utilizando carretillas. La cantidad de compost a colocar en cada cama será de hasta 40 cm de la altura de esta.
- **Sembrado de lombrices:** Luego de colocar el compost en las camas, se procede a añadir las lombrices encima de la superficie del compost, éstas comenzarán a introducirse e irán alejándose de la superficie. La cantidad de lombrices que se colocarán serán entre 2500 a 3000 por metro cúbico.
- **Recuperación de lombrices:** Para recuperar las lombrices de las camas, se prepara un compost con estiércol y restos de poda (servirá de alimento para las lombrices), ambos en la misma cantidad de volumen. Después de 20 a 30 días (cuando esté listo), se coloca en capas de 15 cm sobre la superficie de las camas, esto atraerá a las lombrices y será fácil de recuperarlas.

Después de extraer las lombrices, al producto que queda en las camas, se le denomina humus de lombriz o estiércol de lombriz.

- **Secado**

Después de extraer las lombrices, el humus se coloca en una cama para disminuir el porcentaje de humedad, para posteriormente, ser tamizado.

- **Tamizado**

Para homogenizar las partículas del humus y eliminar cualquier material de residuo que no llegó a degradarse, el producto pasa por un tamiz vibratorio.

- **Envasado**

Después de tamizar el producto el humus se envasa en sacos de 50 kg, se recomienda no usar sacos herméticos o impermeables.

- **Almacenado**

Una vez envasado el producto, los sacos son trasladados al almacén de productos terminados.

4.1.2 Diagrama de operaciones

En la Figura 47 se muestra el diagrama de operaciones para la producción de humus en sacos de 50 kg. Al inicio se considera una inspección para asegurar que no haya residuos no biodegradables en la materia prima. La trituración se realizará a los residuos de poda y césped (residuos que proceden del mantenimiento de las áreas verdes), esta operación se llevará a cabo en aproximadamente 4 horas (dado a la capacidad de la trituradora) Ver Figura 31

Posteriormente, se realiza la operación de pesado de los residuos de: estiércol, poda y frutas y verduras; para la formación de una pila, luego, se inicia el proceso de compostaje en el que se añade agua (controlando la humedad de la pila según fases del

proceso), se realizará volteos a la pila, cada cuatro días en promedio, y a su vez, se medirán los parámetros de pH y temperatura.

Una vez terminado la operación de compostaje, inicia la operación de lombricultura, aquí se añaden las lombrices a las camas y se agrega agua cada cierto tiempo (dependiendo de la humedad), además se controla los parámetros de temperatura y pH. Después de aproximadamente un mes se obtiene humus, el producto es tamizado y almacenado en sacos de 50 kg.

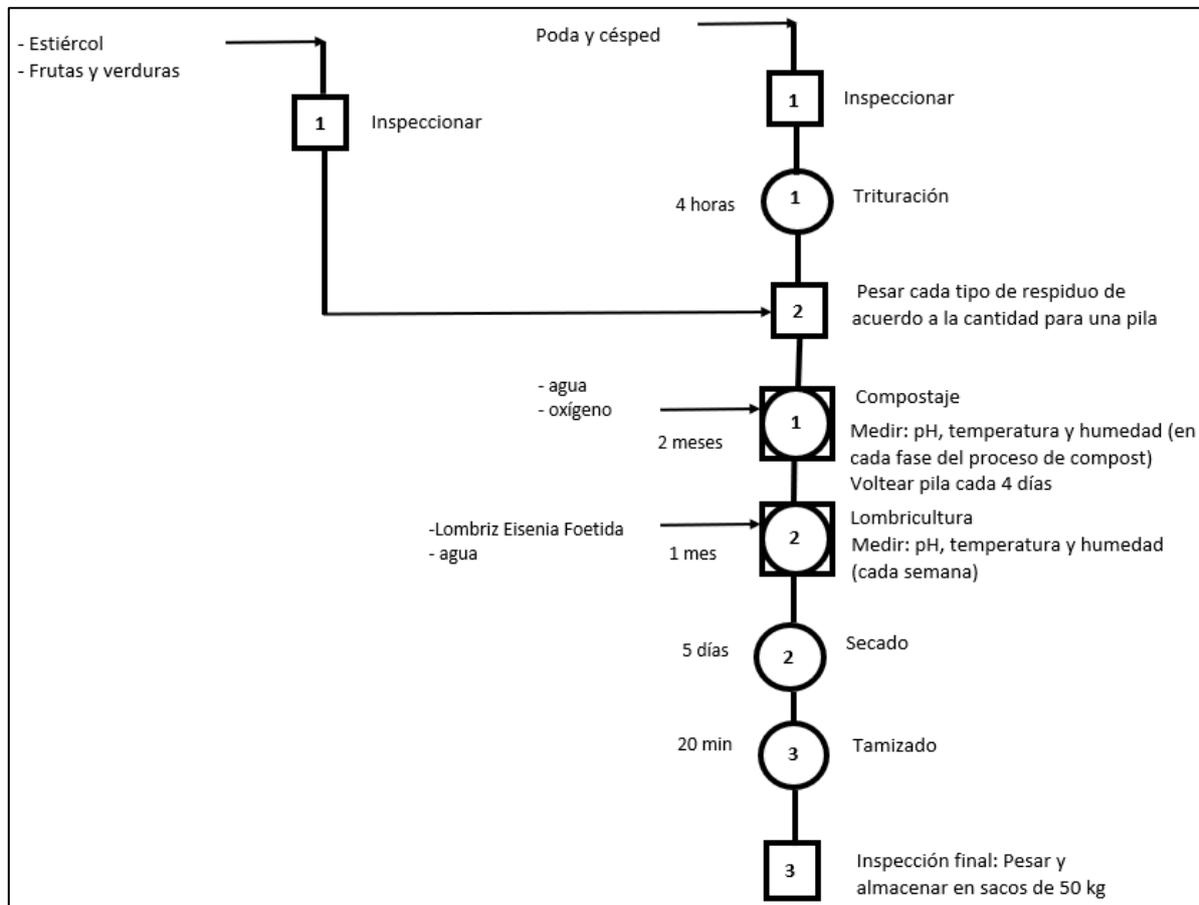


Figura 47. Diagrama de operaciones

4.2 Capacidad de producción

Se ha determinado que la capacidad de la planta estará en función de la materia prima disponible. Para estimar la cantidad de materia prima, se calculará la cantidad de residuos municipales generados en la ciudad en los siguientes 5 años.

4.2.1 Estimación de la población

Antes de realizar la estimación de la cantidad de residuos orgánicos, es necesario realizar la estimación de la población, para obtener el cálculo se tomará los datos de la Tabla 1 y se usará la siguiente ecuación:

$$P_f = P_0 * (1+r)^n \quad (1)$$

Donde:

P_f = Población final estimada

P_0 = Población inicial

r = Tasa de crecimiento

n = número de años (años f - años 0)

La tasa de crecimiento (r) se calculará usando los datos de la Tabla 1, y aplicando la ecuación.

$$r = \frac{\frac{N_t}{N_0} - 1}{t} \quad (2)$$

Donde:

N_t = Población de último año

N_0 = Población inicial

t = número de años

$$r = \frac{\frac{84857}{76214} - 1}{6} = 0.0189$$

La tasa de crecimiento poblacional de la ciudad de Chulucanas fue del 1.89 % entre los años 2015 y 2020.

Utilizando la ecuación (1), se obtiene la población estimada para los siguientes 5 años.

$$P_f = P_0 * (1+r)^n$$

$$P_{2021} = 84857 * (1+0.0189)^1 = 86\ 461 \text{ habitantes}$$

$$P_{2022} = 84857 * (1+0.0189)^2 = 88\ 095 \text{ habitantes}$$

$$P_{2023} = 84857 * (1+0.0189)^3 = 89\ 760 \text{ habitantes}$$

$$P_{2024} = 84857 * (1+0.0189)^4 = 91\ 456 \text{ habitantes}$$

$$P_{2025} = 84857 * (1+0.0189)^5 = 93\ 185 \text{ habitantes}$$

La Tabla 13 se muestra los resultados de la población estimada hasta el año 2025.

Tabla 13. Población estimada hasta el año 2025

Año	2021	2022	2023	2024	2025
Población total	86 461	88 095	89 760	91 456	93 185

4.2.2 Estimación de cantidad de residuos

Para estimar la cantidad de residuos, se tomará como base el estudio de Caracterización de Residuos Sólidos Orgánicos Municipales del distrito de Chulucanas,

(2019). Donde se obtuvo que la Generación Per Cápita (GPC) de residuos sólidos municipales urbano del distrito de Chulucanas es de 0.646 kg/hab.día (Ver Tabla 14).

Tabla 14. GPC en el distrito de Chulucanas

Zona	Representatividad poblacional	GPC total del Estrato validado	%I * GPCI
Zona a	52 %	0.638	0.332
Zona b	30 %	0.649	0.195
Zona c	18 %	0.666	0.120
Total	100 %	GPC Domiciliaria	0.646

Fuente: Gerencia de Servicio a la Comunidad y Gestión Ambiental (2019)

Para calcular la cantidad de residuos sólidos municipales, se usará esta ecuación: Cantidad de residuos (t/año) = Habitantes*GPC (kg/hab.día) *365(días/año) *10⁻³, en la Tabla 15 se muestran los resultados.

Tabla 15. Cantidad de residuos sólidos municipales

Año	Habitantes	GPC (kg/hab.día)	Cantidad de residuos sólidos municipales (t/año)
2021	86 461	0.646	20 387
2022	88 095	0.646	20 772
2023	89 760	0.646	21 165
2024	91 456	0.646	21 564
2025	93 185	0.646	21 972

Según el estudio de caracterización de residuos sólidos municipales (2019), se estima que, del total de residuos generados el 40.44% son residuos orgánicos, de esta cantidad, el 29.81 % representa a restos de alimentos, el 6.92 % a residuos de maleza y poda y el 3.71 % a estiércol de animales. Tal y como se aprecia en la Figura 48.

Tipo de residuos sólidos	Composición porcentual (%)
1. Residuos aprovechables	82.35
1.1. Residuos Orgánicos	40.44
Residuos de alimentos (restos de comida, cáscaras, restos de frutas, verduras, hortalizas y otros similares)	29.81
Residuos de maleza y poda (restos de flores, hojas, tallos, grass, otros similares)	6.92
Otros orgánicos (estiércol de animales menores, huesos y similares)	3.71

Figura 48. Composición porcentual de los tipos de residuos sólidos

Fuente: Gerencia de Servicio a la Comunidad y Gestión Ambiental (2019)

Así mismo, el estudio realizó la valorización de los residuos recolectados (la cantidad de residuos que servirían para la elaboración de humus). En la Tabla 16 se muestra el resultado del porcentaje de valorización basado en el anexo.

Tabla 16. Porcentaje de residuos valorizados

Origen de residuos	Cantidad recolectado (t/mes)	Cantidad valorizado (t/mes)	Porcentaje de residuo valorizado
Mercado	4	3.64	91%
Áreas verdes	5.75	5.67	98.6%
Camal municipal	4.97	4.79	96.4%

Para obtener la cantidad valorizada de frutas y verduras, se tomará como referencia la cantidad de residuos valorizados en los mercados, el cual del 100% de residuos recolectados se podría usar el 91 %. Tomando un margen de error del -1 % (90%) se estima que, aproximadamente el 26.8% de la cantidad de residuos municipales correspondería a la cantidad de frutas y verduras que podría usarse en la elaboración de humus.

La Tabla 17, muestra la cantidad aproximada de residuos orgánicos (frutas y verduras) que se espera tener en los próximos años; estos resultados se obtuvieron al multiplicar la cantidad de residuos por el porcentaje de residuos orgánicos correspondiente a frutas y verduras.

Tabla 17. Cantidad de frutas y verduras

Año	Cantidad de residuos municipales (t/año)	Cantidad de frutas y verduras (cantidad de residuos municipales * 26.8% t/año)
2021	20 387	5463.716
2022	20 772	5566.896
2023	21 165	5672.22
2024	21 564	5779.152
2025	21 972	5888.496

En cuanto a la cantidad de maleza y poda, según el estudio de caracterización el 6.92% corresponde a restos de césped y follaje (residuos de limpieza de parques y jardines). En la Tabla 16 se determina que el porcentaje valorizado de residuos provenientes del mantenimiento de áreas verdes es del 98.6 %, por lo que, se determina que la cantidad de residuos disponibles sería 6.82 % aproximadamente.

En la Tabla 18 se muestra la cantidad de residuos de maleza y poda:

Tabla 18. Cantidad de maleza y poda

Año	Cantidad de residuos municipales (t/año)	Cantidad de maleza y poda (cantidad de residuos municipales * 6.82% t/año)
2021	20 387	1390.3934
2022	20 772	1416.6504
2023	21 165	1443.453
2024	21 564	1470.6648
2025	21 972	1498.4904

Con respecto a los residuos del camal municipal, el 3.71% corresponde a estiércol de animales, huesos, entre otros. Según la Tabla 16 se calcula que, del total recaudado el 96.4 % es apto para usarse en el proceso de producción, por lo que, el 3.57 % serviría para el proceso. En la Tabla 19 se muestra las cantidades de estiércol por año.

Tabla 19. Cantidad de estiércol

Año	Cantidad de residuos municipales (t/año)	Cantidad de estiércol (cantidad de residuos municipales * 3.57%) t/año
2021	20 387	727.8159
2022	20 772	741.5604
2023	21 165	755.5905
2024	21 564	769.8348
2025	21 972	784.4004

La cantidad total de materia prima disponible para el proceso de producción de humus será la sumatoria de la cantidad de frutas y verduras, de poda y césped y de estiércol de animales del camal municipal. En la Tabla 20 se muestra la cantidad total de residuos disponibles:

Tabla 20. Total de residuos disponibles

Año	Cantidad de frutas y verduras (t/año)	Cantidad de restos de poda y césped (t/año)	Cantidad de estiércol (t/año)	Total de materia prima disponible (t/año)
2021	5463.716	1390.3934	727.8159	7581.9253
2022	5566.896	1416.6504	741.5604	7725.1068
2023	5672.22	1443.453	755.5905	7871.2635
2024	5779.152	1470.6648	769.8348	8019.6516
2025	5888.496	1498.4904	784.4004	8171.3868

Una vez estimada la cantidad de materia prima disponible por año, es necesario conocer la cantidad de humus que se puede producir con cierta cantidad de residuos. Según el proceso de humus realizado en el capítulo 4, la cantidad de producto final representa el 70 % de materia prima utilizada, considerándose una merma del 30%. Se tomará este porcentaje para estimar la cantidad de humus, en la Tabla 21 se muestra la producción aproximada en cada año.

Tabla 21. Cantidad estimada de humus

Año	Materia prima disponible (t/año)	Cantidad estimada de humus (materia prima disponible * 0.7 t/año)
2021	7581.9253	5307.3477
2022	7725.1068	5407.5748
2023	7871.2635	5509.8845
2024	8019.6516	5613.7561
2025	8171.3868	5719.9708

Capacidad máxima

La capacidad máxima de la planta se basa en la cantidad de humus que podría producirse al recaudarse la cantidad de residuos estimados durante los siguientes cinco años (Tabla 21). Se realiza un promedio de estas cantidades, dando como resultado 5 511.7 t/año, dado que el producto, es almacenado en sacos de 50 kg. Se obtiene:

$$\text{capacidad máxima} = \frac{5511.7 \frac{\text{t}}{\text{año}}}{0.05 \frac{\text{t}}{\text{saco}}} * \frac{1 \text{ año}}{12 \text{ meses}} = 9\ 186.2 \frac{\text{sacos}}{\text{mes}}$$

Producción actual

Según el registro de producción de humus (Ver Tabla 22 y Tabla 23), en febrero del año 2020 se obtuvo la máxima producción de humus, el cual fue de 3.16 t. El producto es almacenado en sacos de 50 kg, por lo que, en ese mes se obtuvieron 63 sacos. La materia prima con la que se está procesando es solo el total de residuos orgánicos recolectados en el camal municipal y de los parques y jardines de la ciudad, es decir, no se está considerando la cantidad de frutas y verduras.

Tabla 22. Producción de humus en el 2019

Año	Mes	Cantidad de humus (t)
2019	Junio	3.08
	Julio	2.07
	Agosto	1.95
	Setiembre	2.01
	Octubre	2.48
	Noviembre	1.75
	Diciembre	0.77
	Total	14.11

Fuente: Sub Gerencia de Ornato - MPMCH (2019 y 2020)

Tabla 23. Producción de humus en el 2020

Año	Mes	Cantidad de humus (t)
2020	Enero	0.15
	Febrero	3.16
	Marzo	0.875
	Abril	0.2
	Mayo	0
	Junio	0.9
	Julio	1.18
	Agosto	2.68
	Setiembre	1.77
	Octubre	1.15
	Noviembre	2.75
	Diciembre	0.63
Total	15.45	

Fuente: Sub Gerencia de Ornato – MPMCH (2019 y 2020)

Capacidad diseñada

Considerando que, la capacidad máxima de 9 186 sacos/mes es el 100 %, la capacidad real actual correspondería al 0.69 %, es decir, teóricamente se estaría produciendo el 0.69 % de lo que podría producirse.

Por otro lado, al realizar la comparación de las cantidades de residuos ingresados del año 2020 con respecto al 2019 (Ver Tabla 24 y Tabla 25) se tiene:

La cantidad total de residuos de limpieza de parques y jardines fue de 22.48 t, mientras que, la cantidad de estiércol animal fue de 4.55 t, siendo un total de residuos orgánicos recolectados de 27.03 t. Al comparar estas cantidades con respecto al mismo periodo del 2019, éstas tienen una ratio de 2.2, es decir, se duplicaron aproximadamente.

Este aumento de residuos orgánicos se debe principalmente, a que las cantidades de residuos orgánicos recolectados de los parques y jardines del año 2020 son casi el triple de las cantidades del año 2019. En cuanto a los residuos orgánicos recolectados del camal municipal fueron aproximadamente, las mismas cantidades. Ver Figura 49.

Tabla 24. Cantidad de entrada de materia prima 2019

Año	Mes	Entradas	
		Restos de limpieza de parques y jardines (t)	Restos orgánicos del camal municipal (t)
2019	Junio	0.65	1.13
	Julio	0.45	0.45
	Agosto	0.45	0.5
	Septiembre	1.04	1.50
	Octubre	1.51	0.62
	Noviembre	1.65	0.77
	Diciembre	1.45	0.15
	Total	7.2	5.12

Fuente: Sub Gerencia de Ornato – MPMCH (2019 y 2020)

Tabla 25. Cantidad de entrada de materia prima 2020

Año	Mes	Entradas	
		Restos de limpieza de parques y jardines	Restos orgánicos del camal municipal
2020	Enero	1.83	0.50
	Febrero	1.61	0.30
	Marzo	2.76	0
	Abril	3.13	0.15
	Mayo	0	0.50
	Junio	4.50	0
	Julio	0.8	1.90
	Agosto	2.43	0.70
	Setiembre	3.70	0.50
	Octubre	3.25	0
	Noviembre	3.45	1.0
	Diciembre	4.35	0.45
Total	31.8	6	

Fuente: Sub Gerencia de Ornato – MPMCH (2019 y 2020)

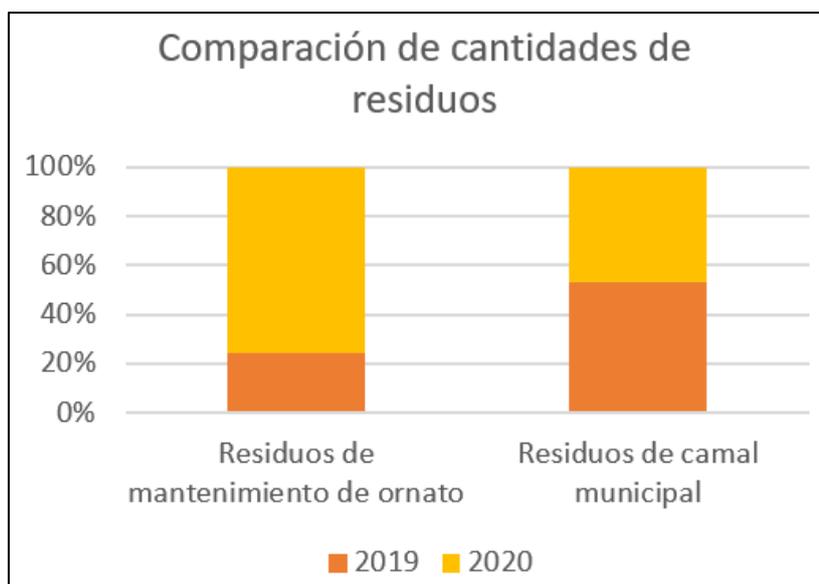


Figura 49. Comparación de cantidad de residuos

Se puede afirmar entonces, que, al realizar una adecuada recolección de residuos proveniente de áreas verdes, es posible obtener la cantidad necesaria para el proceso, mientras que, para los restos provenientes del camal municipal, se debe tener cuidado con que la cantidad de esta materia prima no sea insuficiente para la producción de humus.

Debido a esto, se calcula la cantidad promedio de residuos por mes que ingresarían a la planta (Ver Tabla 26), suponiendo que se recauda el 100 % de lo estimado en base a la Tabla 20.

Tabla 26. Cantidad promedio de residuos

Cantidad promedio	Frutas y verduras	Poda y césped	Estiércol
t/año	5674.096	1443.9304	755.8404
kg/mes	472 841.3	120 327.5	62 986.7

Como se puede observar, el estiércol es el que se recauda en menor cantidad. Por otro lado, se tiene como objetivo aumentar como mínimo a un 10 % la cantidad de producción de humus. Considerando que 9 186.2 sacos/mes es el 100% y realizando una regla de tres simple, se tiene:

$$\begin{aligned}
 &9\ 186.2 \text{ sacos/mes} - 100\% \\
 &x \text{ sacos/mes} - 10\% \\
 &x = 918.62 \frac{\text{sacos}}{\text{mes}} = 45\ 931 \text{ kg/mes}
 \end{aligned}$$

Para producir esta cantidad de humus, es necesario tener 65 615.7 kg/mes de materia prima en las siguientes cantidades (Ver Tabla 27), según proporciones de la Tabla 12.

Tabla 27. Cantidad de residuos con producción al 10%

Residuo orgánico	Cantidad (%)	Cantidad kg/mes
Estiércol de animal (vacuno, ovino-coprino y porcino)	25	16 403.9
Restos vegetales (hojarasca y ramillas de algarrobo, restos de poda, entre otros)	45	29 527.1
Residuos domiciliarios (frutas y verduras)	30	19 684.7

Como se puede observar, comparando las cantidades de la Tabla 27 con la Tabla 26 hay cantidad suficiente de residuos para producir más del 10%. Sí, se produciría el 40 % se obtendría:

$$9\ 186.2 \text{ sacos/mes} \cdot 100\% \\ x \text{ sacos/mes} \cdot 40\%$$

$$x = 3\ 674.5 \text{ sacos/mes} = 183\ 724 \text{ kg/mes}$$

Para producir esta cantidad de humus, es necesario tener 262 462.9 kg/mes kg de materia prima en las siguientes cantidades (Ver Tabla 28) según proporciones de la Tabla 12

Tabla 28. Cantidad de residuos con producción al 40%

Residuo orgánico	Cantidad (%)	Cantidad kg/mes
Estiércol de animal (vacuno, ovino-coprino y porcino)	25	65 615.7
Restos vegetales (hojarasca y ramillas de algarrobo, restos de poda, entre otros)	45	118 108.3
Residuos domiciliarios (frutas y verduras)	30	78 738.9

Comparando las cantidades de la Tabla 28 con la Tabla 26, la cantidad de estiércol sobrepasa el límite de la cantidad promedio de residuos que ingresarían a la planta. Por ende, el 40% sería como la máxima cantidad de producción de humus. Por lo que, se pretende obtener el 30% que estaría entre el máximo y el mínimo, para obtener como resultado la capacidad diseñada que podría tener la planta.

$$9\ 186.2 \text{ sacos/mes} \cdot 100\% \\ x \text{ sacos/mes} \cdot 30\%$$

$$x = 2\ 755.9 \text{ sacos/mes} = 137\ 793 \text{ kg/mes}$$

Para producir esta cantidad de humus, es necesario tener 196 847.1 kg/mes de materia prima en las siguientes cantidades (Ver Tabla 29) según proporciones de la Tabla 12.

Tabla 29. Cantidad de residuos con producción al 30%

Residuo orgánico	Cantidad (%)	Cantidad kg/mes
Estiércol de animal (vacuno, ovino-coprino y porcino)	25	49 211.8
Restos vegetales (hojarasca y ramillas de algarrobo, restos de poda, entre otros)	45	88 581.2
Residuos domiciliarios (frutas y verduras)	30	59 054.1

Como se puede observar, comparando las cantidades de la Tabla 29 con la Tabla 26, la cantidad de estiércol por utilizar se acerca a la cantidad máxima que podría obtenerse, al igual que los restos vegetales. Por esta razón, se determina que la capacidad diseñada de la planta sería de 2 755.9 sacos/mes es decir 137 793 kg/mes. Se estaría aumentando la producción al 30%.

4.3 Maquinaria y/o equipos

Dado que, el proceso de producción de humus será semi mecanizado, se ha establecido utilizar máquinas para la trituración, pesado, mezclado/volteado, y tamizado. Mientras que, para el resto del proceso (parte del compostaje y técnica de lombricultura), se usarán herramientas como: palas, machetes, carretillas, rastrillos, entre otros. A continuación, se detalla la maquinaria y/o equipos a usar:

- **Volquete:** Se usará para transportar los residuos orgánicos domiciliarios de la ciudad de Chulucanas, hasta la planta del proceso de humus. Principalmente, los restos de frutas y verduras. Ver Tabla 30.

Tabla 30. Volquete

Especificaciones:

Dimensiones:

Longitud: 6.2 m

Ancho: 2.3 m

Alto: 2.58 m

Dimensiones de tolva:

3.9m *2.06m*1m

Volumen:

8 metros cúbicos

Potencia de motor:

154 HP/ 2,600 RPM



Fuente: IncaPower (s.f.)

- **Trituradora:** Esta máquina ayudará a triturar los residuos orgánicos procedentes de la limpieza de parques y jardines. Ver Tabla 31

Tabla 31. Trituradora

Especificaciones:

Dimensiones:

Largo sin mango: 1.9 m

Ancho: 1.7 m

Altura: 1.61 m

Peso: 175 kg

Potencia TDP: 16 hp

Diámetro máx. de corte: 10 cm

Rotación: 540 rpm

N° de martillos: 34

N° de cuchillas: 2

Producción: 6 a 5 m³/h



Fuente: TRAP (s.f.)

- **Balanza industrial:** Servirá para pesar los residuos orgánicos que ingresarán al proceso de producción, con la finalidad de colocar la cantidad exacta de cada tipo de residuo. Ver Tabla 32.

Tabla 32. Balanza industrial

Especificaciones:Dimensiones:

Largo: 1.2 m

Ancho: 1.2

Rango de pesado:

2 000 kg

Capacidad de lectura:

0.5 kg

Incertidumbre: ± 0.5 kg

Fuente: PCE Instruments (s.f.)

- **Volteadora de compost:** Se usará para realizar los volteos a la pila de compostaje. Ver Tabla 33.

Tabla 33. Volteadora de compost

Especificaciones:Dimensiones:

- Ancho de la máquina: 5.17m

- Largo: 5.70 m

- Anchura máxima de pila: 3.4 m

- Altura máxima de la pila: 1.6 m

Potencia del tractor:

Desde 70 CV

Tasa de volteo:~ 1000m³/h/80 CVVelocidad de trabajo:

200 – 750 m/h (dependiendo del material)



Fuente: UNIDECO (s.f.)

- **Tamiz vibratorio:** Se utiliza en la etapa final del proceso (cuando se obtiene el humus de lombriz) para homogenizar las partículas del producto. Ver Tabla 34.

Tabla 34. Tamiz vibratorio

Especificaciones:Dimensiones:

Ancho: 1 m

Largo: 2 m

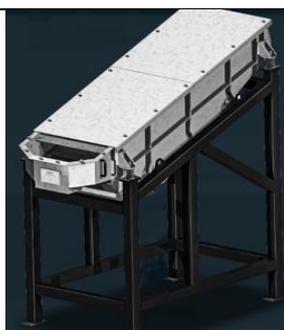
Altura: 2.07 m

Potencia:

0.75 kW

Producción máxima:

4000 kg/h

Malla: Según la especificación del cliente

Fuente: Kontinuer (s.f.)

- **Herramientas para el proceso de compostaje y lombricultura:** Durante el proceso de compostaje y lombricultura, será necesario contar con herramientas como: palanas, machetes, rastrillos, carretillas y mangueras (para regar el compost). La cantidad de unidades para cada herramienta se especifica en el apartado 5.1.1. Ver Figura 50.



Figura 50. Herramientas
Fuente: TRAP (s.f.)

- **Equipos para el control de calidad:** Para el control de la calidad en el proceso de compostaje y lombricultura, se necesitará de un medidor de pH, temperatura y humedad. Ver Tabla 35 y Tabla 36.

Tabla 35. Equipos para medir pH y Temperatura

Especificaciones:

Rango:

pH: -2.00 a 16.00

Temperatura: -5 a 105.0 °C

Resolución:

pH: 0.01

Temperatura: 0.1 °C

Precisión:

pH: ± 0.02

Temperatura: ± 0.5 hasta 60°C o

± 1 °C hasta 150.0°C



Fuente: InfoAgro (s.f.)

Tabla 36. Equipo para medir humedad

Especificaciones:

Dimensiones

Largo: 0.45 m

Ancho: 0.07 m

Altura: 0.06 m

Escala: 0-10



Fuente: Alibaba (s.f.)

- **Balanza:** Se usará para pesar la cantidad de producto terminado, el cual se almacenará en sacos de 50 kg. Ver Tabla 37.

Tabla 37. Balanza

Especificaciones:Capacidad:

100 kg

Dimensiones:

Largo: 0.5 m

Ancho: 0.6 m

Altura: 0.2 m



Fuente: Alibaba (s.f.)

4.4 Mano de obra directa

Para la elaboración de humus se estima que se necesitarán aproximadamente 10 personas, dos de ellas serán los encargados de la operación de compostaje y lombricultura (dirigirán el proceso), y 8 obreros (6 para el proceso de compostaje y 2 para el proceso de lombricultura).

Las 6 personas del proceso de compostaje se harán cargo de:

- Seleccionar residuos
 - Manejar máquina de trituradora
 - Regar la pila
 - Manejar máquina volteadora de compost
 - Trasladar materia prima para construcción de pilas y para traslado de compost al proceso de lombricultura.
- Las 2 personas del proceso de lombricultura se harán cargo de:
- Construcción de camas
 - Llenado de lombrices
 - Tamizado
 - Traslado de materia prima al almacén de productos terminados.

4.5 Disposición de planta

Para la disposición de planta primero se determinan las áreas, para luego determinar sus ubicaciones a través de tablas y diagramas de interrelaciones. Se estiman las dimensiones de las áreas para luego realizar el análisis de layouts y a través de una evaluación multicriterio, indicar la mejor opción. Finalmente se determina la localización de la planta.

4.5.1 *Determinación de áreas*

Se ha determinado que la planta de producción de humus tendrá las siguientes áreas:

- **Oficinas:** Involucra las oficinas administrativas, tales como: Operaciones, Contabilidad - finanzas, logística y calidad.
- **Baños para oficinas:** Serán usados solo por el personal administrativo.
- **Área de recepción de materia prima:** Lugar en el que se depositan los residuos orgánicos. Dentro del área, se determinará según el origen de los residuos, las zonas específicas en las que se colocará cada tipo de residuo orgánico y se inspecciona que no haya residuos no biodegradables.
- **Área de compostaje:** Es el espacio destinado al proceso de producción de compost, aquí se realizarán las etapas de: trituración, pesado y el proceso de compostaje (se destinará el espacio para las pilas).
- **Área de lombricultura:** Es la zona destinada al proceso de producción de humus, en este lugar se ubicarán las camas de lombriz y las camas en las que se colocará momentáneamente el producto final (para la operación del secado). Además, se realizará las operaciones de tamizado, envasado y pesado.
- **Área de propagación de plantas o vivero:** Dentro de la planta del proceso de producción de humus, se destinará un espacio en el cual se realizará la propagación de plantas (a cargo de la Subgerencia de Ornato), las cuales son destinadas para el ornato de la ciudad. Se destinará una parte del humus obtenido para estas plantas.
- **Almacén general:** Lugar destinado para almacenar materiales que servirán para usar en la construcción de camas de lombriz como: madera, malla raschel, clavos, además de herramientas como: carretilla, rastillo, palana, entre otros, y materiales de oficina.
- **Área de productos terminados:** Es el espacio en el que se colocarán los sacos que contienen 50 kg de humus, los cuales saldrán del lugar, conforme a los requerimientos o solicitudes de las organizaciones. Es preferible que salgan en un periodo máximo de 3 meses después de haberse producido.
- **Caseta de vigilancia:** En el lugar se encontrará las personas que darán el servicio de vigilancia para la planta.
- **Zona de ingreso y salida de vehículos y personal:** Es la zona por donde ingresarán y saldrán los vehículos, que transportan el producto y por donde podrá transitar el personal que labora en planta.
- **Baños y vestidores:** Serán usados por el personal que labore dentro del proceso de producción del producto.

- **Comedor:** Lugar en el que los trabajadores de planta podrán degustar de sus alimentos.

4.5.2 Tablas de interrelaciones

Para determinar la ubicación de cada área, es importante analizar la proximidad entre ellas. Para esto, se usarán tablas y diagramas con los que se logrará establecer las ubicaciones de las áreas.

En la Tabla 38 se muestra el código de proximidades, mientras que en la Tabla 39 se muestra las razones por lo que las áreas tendrán las proximidades asignadas.

Tabla 38. Código de proximidades

Código	Proximidad	Color
A	Absolutamente necesario	Rojo
E	Especialmente necesario	Amarillo
I	Importante	Verde
O	Normal	Azul
U	Sin importancia	
X	No deseable	Plomo
XX	Altamente no deseable	Negro

Tabla 39. Código de razones

Código	Razones
1	Actividades consecutivas
2	Necesidad de supervisión
3	Necesidad de herramientas
4	Acceso común por recepción o despacho
5	Ahorro de tiempo al empleado al trasladarse
6	Malos olores y ruidos
7	Exclusivo para administrativos o para operarios

En la Tabla 40 se muestra el símbolo de actividades, este símbolo será asignada dependiendo a la función de cada área.

Tabla 40. Símbolo de actividades

Símbolo	Actividad
	Control
	Producción y operaciones
	Transporte
	Almacén
	Servicio

- **Tabla de interrelaciones**

En la Figura 51. Tabla de interrelaciones, se muestra la proximidad y su razón entre cada área, así como su símbolo.

SÍMBOLO	ÁREA												
1	OFICINAS	A											
2	BAÑOS PARA OFICINAS	5	X										
		U	6	E									
3	RECEPCIÓN DE MATERIA PRIMA		X	2	E								
		A	7	X	2	U							
4	COMPOSTAJE	1	U	7	U	I							
		A		U	U	3	E						
5	LOMBRICULTURA	1	U		A	U	2	I					
		U		A	3	U	E	2	U				
6	VÍVERO		I	3	U	X	5	U	X				
		U	3	E	X	6	A	X	7	I			
7	ALMACÉN GENERAL		U	4	U	6	U	4	U	7	U	5	
		U		U	U	U	A	XX					
8	PRODUCTOS TERMINADOS		I		U	A	5	XX	6				
		I	2	A	U	5	X	6					
9	CASETA DE VIGILANCIA	2	A	4	U	O	6						
		A	4	U	U	5							
10	ZONA DE INGRESO Y SALIDA DE VEHÍCULOS Y PERSONAL	2	U	U									
		U	U										
11	BAÑOS Y VESTIDORES	XX											
		6											

Figura 51. Tabla de interrelaciones

4.5.3 Diagrama de interrelaciones

Después de realizar la tabla de interrelaciones se construyen dos diagramas de interrelaciones (Ver Figura 52 y Figura 53), las cuales serán opciones de ubicación de áreas, posteriormente a través de un análisis multicriterio se elegirá la mejor opción.

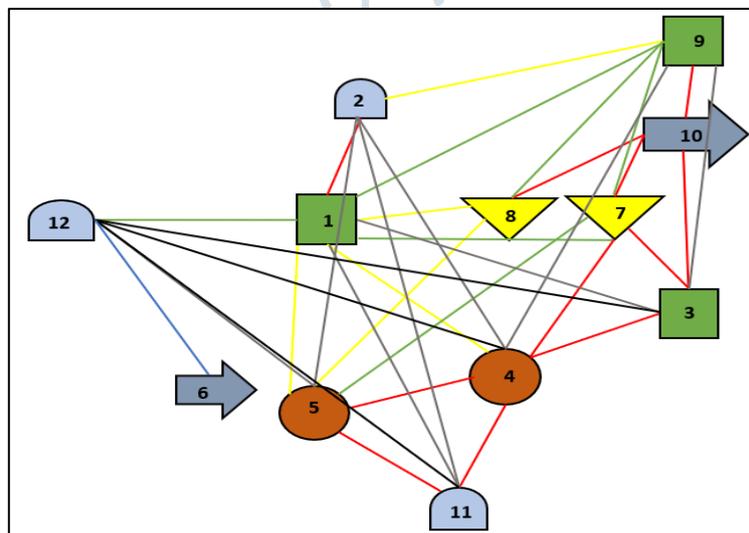


Figura 52. Diagrama de interrelaciones 1

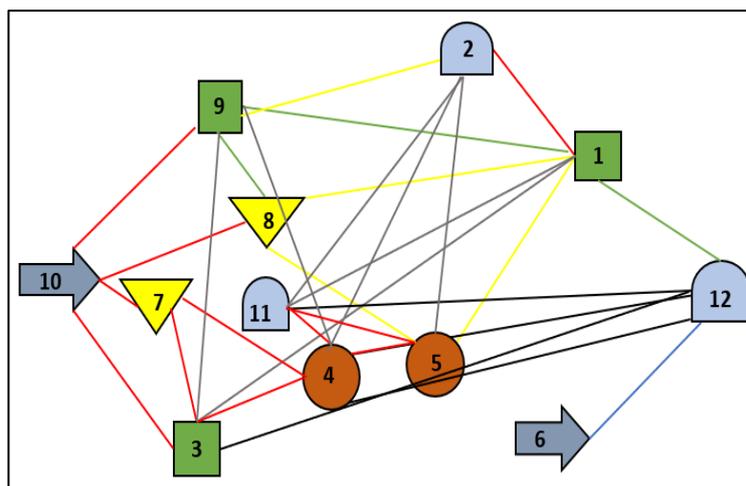


Figura 53. Diagrama de interrelaciones 2

4.5.4 Dimensionamiento de superficies

Una vez establecidas las ubicaciones de las áreas, se procede a definir las dimensiones de cada una.

- **Oficinas**

Según el libro: Diseño de instalaciones de manufactura y manejo de materiales (Meyers & Stephens, 2006), el área de las oficinas puede determinarse según la Tabla 41.

Tabla 41. Dimensiones de oficina

	Área de:
Ejecutivo principal	23 a 46 m ²
Ejecutivo	18 a 37 m ²
Ejecutivo junior	10 a 23 m ²
Mando medio	7.5 a 14 m ²
Oficinista	4.5 a 9 m ²
Estación de trabajo mínima	4.5 m ²

Fuente: Meyers & Stephens (2006)

Basándose en la tabla anterior y en el organigrama de la empresa (ver Figura 63), las dimensiones de las áreas para las oficinas se muestran en la Tabla 42.

Tabla 42. Dimensiones de cada oficina

	Justificación	Área (m ²)
Gerencia	Se considera como mando medio porque es una empresa pequeña	9
Subg.de operaciones	Se considera como oficinista	8
Jefe de producción	Se considera como oficinista (el encargado de compostaje y lombricultura, no tendrán oficina propia)	8
Jefe de logística	Estación de trabajo como oficinista (se incluye también el asistente de almacén)	8
Jefe de calidad	Estación de trabajo mínima	5
Jefe de contabilidad	Estación mínima	5
Total		43

- **Baños para oficinas**

El espacio destinado estará en función al número de trabajadores que estarán en oficina, se estima que, se contaría con 8 trabajadores (Ver apartado 4.7). Según el Reglamento Nacional de Edificaciones (2006), capítulo IV Artículo 15, para 7 a 20 empleados, se necesitaría lo mostrado en la Tabla 43.

Tabla 43. Requisitos de baños para oficina

Número de empleados	Servicio sanitario para hombres	Servicio sanitario para mujeres
De 7 a 20 empleados	- 1 lavatorio - 1 urinario - 1 inodoro	- 1 lavatorio - 1 unitario

Fuente: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2006)

Por lo tanto, se necesitarían dos baños (uno para hombres y el otro para mujeres). Se consultó a un Ing. Civil sobre las dimensiones de un baño según los requisitos de la Tabla 43 y sugirió las dimensiones mostradas en la Tabla 44.

Tabla 44. Dimensiones de baños para oficina

Ancho (m)	Largo (m)	Área (m²)
1.5	2	3

Para los dos baños se destinaría un área total de 6 m².

- **Baños y vestidores**

En cuanto al espacio destinado para los baños y vestidores para el personal de producción, también estará en función al número de trabajadores. Se estima que, para todo el proceso de producción se necesitarían 10 trabajadores (apartado 4.4), el Reglamento Nacional de Edificaciones (2006), capítulo III artículo 21, determina lo siguiente:

Tabla 45. Requisitos para baños para personal de producción

Número de empleados	Servicio sanitario para hombres	Servicio sanitario para mujeres
De 0 a 15 empleados	- 1 lavatorio - 1 urinario - 1 inodoro	- 1 lavatorio - 1 urinario

Fuente: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2006)

Por lo tanto, se necesitarían dos baños (uno para hombres y otro para mujeres). Siendo los mismos requisitos que los baños para las oficinas (Tabla 44), se determina que en los dos baños se destinaría un área total de 6m².

En cuanto al área para los vestidores, el Reglamento Nacional de Edificaciones (2006), capítulo III artículo 22, dice lo siguiente:

Las edificaciones industriales deben de estar provistas de 1 ducha por cada 10 trabajadores por turno y un área de vestuarios a razón de 1.50 m² por trabajador por turno de trabajo.

En base este reglamento y teniendo presente la cantidad estimada de 10 trabajadores para la producción de humus, se ha determinado las dimensiones que se muestran en la Tabla 46.

Tabla 46. Área para duchas y vestidores

	Área (m ²)
1 ducha	1.5
10 vestuarios	15

Por lo tanto, el área total para duchas y vestidores es de 16.5 m².

- **Caseta de vigilancia**

Se le consultó a un Ing. Civil sobre las dimensiones de una caseta de vigilancia, y sugirió considerar las medidas mostradas en la Tabla 47.

Tabla 47. Dimensiones de una caseta de vigilancia

	Largo (m)	Ancho (m)	Área (m ²)
Caseta de vigilancia	2.5	1.5	3.75

- **Comedor**

Se consultó a un Ing. Civil sobre las dimensiones que podría considerarse para un comedor, para una capacidad aproximada de 20 personas, y sugirió considerar las medidas mostradas en la Tabla 48.

Tabla 48. Dimensiones de comedor

	Largo (m)	Ancho (m)	Área (m ²)
Comedor	8	5	40

- **Área de recepción de materia prima**

Se destinará un espacio para restos de frutas y hortalizas, maleza y césped, y estiércol. Para determinar el espacio que ocupará cada uno de los tres residuos, se partirá de la densidad calculada de residuos sólidos municipales Tabla 49.

Tabla 49. Densidad de residuos sólidos municipales

Nº	Fuente de generación	Densidad(kg/m ³)	Densidad promedio ponderada(kg/ m ³)
1	Domiciliario	209.94	198.65
2	No Domiciliario	187.35	

Fuente: Gerencia de Servicio a la comunidad y Gestión Ambiental, MPMCH (2020)

Espacio para restos de estiércol: La cantidad promedio de estiércol que ingresaría a la planta, es de 62 986. 7 kg/mes (Tabla 26), es decir, 2 099.6 kg/día. Se sabe que:

$$\text{Volumen} = \frac{\text{masa}}{\text{densidad}}$$

Se tiene:

$$\text{Volumen} = \frac{2\,099.6 \text{ kg/día}}{198.65 \text{ kg/m}^3} = 10.5 \text{ m}^3/\text{día}$$

Considerando que, el montículo tiene forma triangular y sabiendo que la altura máxima es de 1.5 m, se toma la altura promedio de 0.75 m para calcular el área que ocupará los restos de estiércol.

$$\frac{10.5 \text{ m}^3}{0.75 \text{ m}} = 14 \text{ m}^2$$

Espacio para restos de maleza y césped: La cantidad promedio de restos de maleza y césped que ingresaría a la planta, es de 120 327.5 kg/mes, es decir, 4010.9 kg/día.

$$\text{Se tiene: Volumen} = \frac{4\,010.9 \text{ kg/día}}{198.65 \text{ kg/m}^3} = 20.2 \text{ m}^3/\text{día}$$

Considerando que, el montículo tiene forma triangular y sabiendo que la altura máxima es de 1.5 m, se toma la altura promedio de 0.75 m para calcular el área que ocupará los restos de maleza y césped.

$$\frac{20.2 \text{ m}^3}{0.75 \text{ m}} = 26.9 \text{ m}^2$$

Espacio para restos de frutas y verduras: La cantidad promedio de restos de frutas y verduras es de 472 841.3 kg/mes, es decir, 15 761.4 kg/día.

$$\text{Volumen} = \frac{15\,761.4 \text{ kg/día}}{198.65 \text{ kg/m}^3} = 79.34 \text{ m}^3/\text{día}$$

Por la misma razón anterior, se considera la altura promedio de 0.75 m

$$\frac{79.34 \text{ m}^3}{0.75 \text{ m}} = 105.8 \text{ m}^2$$

Sumando el espacio de recepción de los tres orígenes de residuos se asigna para el área de recepción de materia prima un espacio de 146.7 m².

Método de Guerchet

Para determinar el área para compostaje y lumbricultura, se usará el Método Guerchet, el cual consiste en sumar tres superficies parciales, están son:

- **Superficie estática (Ss):** Superficie determinada para muebles, máquinas, instalaciones y equipos. Se determina usando la ecuación (3).

$$Ss = \text{Largo} * \text{Ancho} \quad (3)$$

- **Superficie de gravitación (Sg):** Superficie usada por el operador y por el material. Para cada material se utiliza la ecuación (4)

$$S_g = S_s * N \quad (4)$$

Donde:

N=Número de lados laterales a partir de los cuales la máquina debe ser utilizada.

- **Superficie de evolución (Se):** Superficie considerada para los desplazamientos del personal, equipo, medios de transporte y salida de producto terminado. Para determinar esta superficie se usa la siguiente ecuación:

$$S_e = (S_s + S_g) * k \quad (5)$$

Para determinar el valor de k, se realiza mediante la ecuación (6)

$$k = \frac{H}{2 * h} \quad (6)$$

Donde:

H = Altura media de elementos móviles

$$H = \frac{\sum (S_s * n * h)}{\sum (S_s * n)} \quad (7)$$

Donde:

S_s = Superficie estática del elemento móvil

h = Altura del elemento móvil

n = Número de elementos móviles

h = Altura media de elementos fijos

$$h = \frac{\sum (S_s * n * h)}{\sum (S_s * n)} \quad (8)$$

S_s = Superficie estática del elemento fijo

h = Altura del elemento fijo

n = Número de elementos fijos

- **Superficie total (St):** Es la sumatoria de las superficies estática, gravitación y evolución, multiplicado por el número de elementos estáticos de cada tipo. Como se observa en la ecuación (9).

$$S_t = n(S_s + S_g + S_e) \quad (9)$$

Donde:

n = número de elementos estáticos de cada tipo

- **Área de compostaje**

Se determina un espacio para las pilas, para el encargado del proceso, para los operarios y para las siguientes máquinas: trituradora, balanza y volteadora de compost.

Espacio para las pilas: El espacio requerido para las pilas está en función de la cantidad de materia prima a compostar (dependiendo de la cantidad estimada de humus a obtener) y del número de pilas que se necesitarían para compostar los residuos.

Según la capacidad diseñada, la planta estaría produciendo 2755.9 sacos de humus al mes, es decir, 137 793 kg/mes, para producir esta cantidad, se necesitaría 196 847.1 kg/mes de materia prima (sumando el 30% de merma que se pierde en el proceso).

El diseño de la pila es similar a la Figura 54. La finalidad es compostar la mayor cantidad posible de residuos orgánicos en una pila, teniendo presente las especificaciones del apartado 2.3.4.2 se establecen las dimensiones del alto y ancho de la misma.

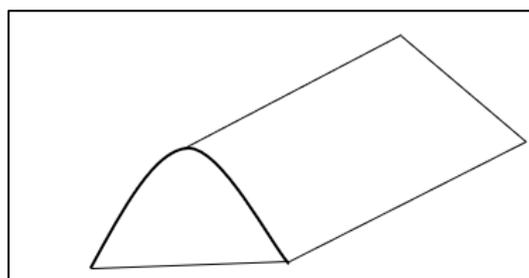


Figura 54. Diseño de pila

- Altura = 1.5 m (este valor se encuentra dentro del rango de altura que podría tomar una pila, además la maquina volteadora puede trabajar con pilas de hasta 1.6 m de alto).
- Ancho = 3 m (el valor máximo del ancho que podría tomar una pila es de 3 m, además, la maquina volteadora de compost puede trabajar con una pila de hasta 3 m de ancho).

Para determinar el largo de la pila se tomará una referencia de la cantidad de residuos orgánicos que podría compostarse con las dimensiones especificadas anteriormente, y considerando un largo de 3 metros. Dado que, la figura de la pila tiene forma de un prisma triangular se tomará la fórmula del volumen del prisma triangular mostrada en la ecuación (10).

$$V = Ab \cdot h / 2 \quad (10)$$

Dónde:

Ab = Área de la base

h = Altura

Se tiene entonces:

$$V = (3 \text{ m} \cdot 3 \text{ m}) \cdot 1.5 / 2$$

$$V = 6.75 \text{ m}^3$$

Tomando la densidad de los residuos de 198.65 kg/m³, se calcula la masa en kg; sabiendo que la densidad es igual a la masa entre el volumen. Por lo tanto, una pila con esas dimensiones estaría compostando 1 340.9 kg de residuos orgánicos.

Según el apartado 2.3.4.2 el largo de la pila puede tomar cualquier valor, considerando que se va a usar una maquina volteadora es mejor que la pila sea larga para que la maquina opere sin parar por varias veces por tener que trabajar en otra pila y de esa manera compostar también mayor cantidad de residuos. Por lo tanto, si se determina un largo de 30 metros, se tiene un volumen de 67.5 m^3 (usando la ecuación (10)), con ese volumen se estaría compostando 13 408.9 kg.

La cantidad total de residuos a compostar es de 196 847.1 kg, entonces, si en una pila se compostan 13 408.9 kg se necesitarían aproximadamente 14 pilas.

Sabiendo que, el proceso de compostaje es de aproximadamente 2 meses, e inicia el proceso en el mes 0. Se propone tener dos áreas (área 1 y área 2) de 14 pilas cada una (ver Figura 55), de tal manera que, en el área 1 se composte los residuos del mes 0, mientras que en el área 2 se composte los residuos del mes 1; una vez que se ha terminado de compostar los residuos del área 1, el espacio queda disponible para compostar los residuos del mes 2, y así sucesivamente.

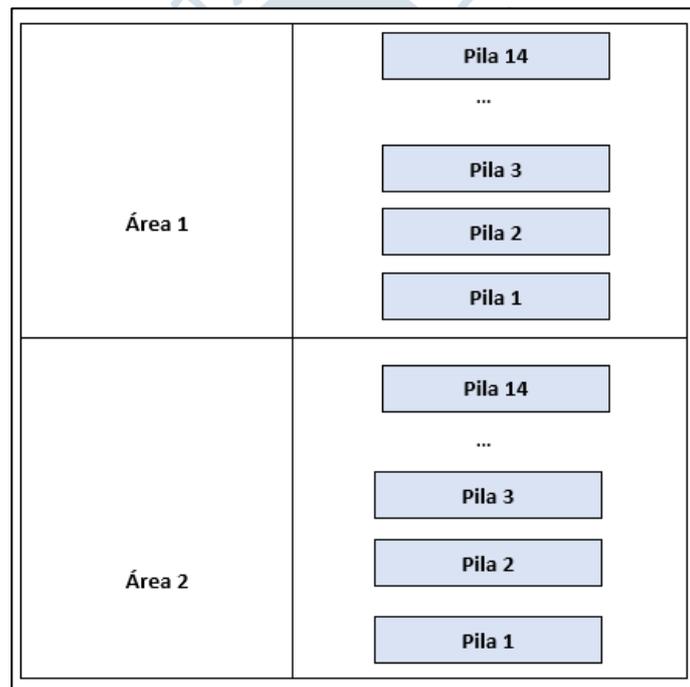


Figura 55. Diseño de ubicación de pilas

Ahora se aplicará el Método Guerchet, para determinar el espacio total del área de compostaje:

- **Superficie estática:** Según las consideraciones del método de Guerchet, para las personas se puede estimar una superficie estática de 0.5 m^2 y una altura promedio de 1.65 m, según el apartado 4.4 para el área de compostaje hay un encargado del proceso y 6 operarios, además las dimensiones de la trituradora, balanza y volteadora de compost se muestran en el apartado 4.3. En la Tabla 50, se muestra la superficie estática.

Tabla 50. Superficie estática del área de compostaje

Elementos fijos			
	Largo (m)	Ancho (m)	Ss (m²)
Pila (área 1)	30	3	90
Pila (área 2)	30	3	90
Elementos móviles			
	Largo (m)	Ancho (m)	Ss (m²)
Trituradora	1.9	1.7	3.23
Balanza	1.2	1.2	1.44
Volteadora de compost	5.7	5.17	29.47
Encargado de compostaje			0.5
Operarios			0.5

- **Superficie de gravitación:** Es la superficie que será utilizada por el operario en las pilas de compostaje. Se considera el siguiente valor de N igual a 2 para las pilas. En la Tabla 51, se muestra el valor de la superficie de gravitación.

Tabla 51. Superficie gravitatoria del área de compostaje

Elementos fijos			
	Ss	N	Sg (m²)
Pilas (área 1)	90	2	180
Pilas (área 2)	90	2	180

- **Superficie de evolución:** Para calcular el valor de la superficie de evolución, primero se calcula el valor de k usando la ecuación (6). En la Tabla 52, se muestra la altura de los elementos móviles y fijos.

Tabla 52. Altura de elementos del área de compostaje

Elementos fijos		Altura (m)
Pila (área 1)		1.5
Pila (área 2)		1.5
Elementos móviles		Altura (m)
Trituradora		1.61
Balanza		1
Volteadora de compost		2
Encargado de compost		1.65
Operarios		1.65

H = Altura media de elementos móviles

$$H = \frac{(3.23*1*1.61)+(1.44*1*1)+(29.47*1*2)+(0.5*1*1.65)+(0.5*6*1.65)}{(3.23*1)+(1.44*1)+(29.47*1)+(0.5*1)+(0.5*6)} = 1.8$$

h = Altura media de elementos fijos

$$h = \frac{(90*14*1.5)+(90*14*1.5)}{(90*14)+(90*14)} = 1.50$$

El valor de k es:

$$k = \frac{1.89}{2*1.50} = 0.63$$

Determinado el valor de k, se calcula la superficie de evolución. Ver Tabla 53.

Tabla 53. Superficie de evolución del área de compostaje

Elementos fijos	Ss (m ²)	Sg (m ²)	K	Se (m ²)
Pilas (área 1)	90	180	0.63	170.1
Pilas (área 2)	90	180	0.63	170.1

- **Superficie total:** En la Tabla 54 se muestra el valor de la superficie total del área de compostaje.

Tabla 54. Superficie total del área de compostaje

Elementos fijos	Ss	Sg	Se	n	St (m ²)
Pilas (área 1)	90	180	170.1	14	6161.4
Pilas (área 2)	90	180	170.1	14	6161.4
Superficie total					12 322.8

- **Área de lombricultura**

Espacio para las camas: Como ya se estableció anteriormente, las camas para el proceso de lombricultura, tendrán las siguientes dimensiones: 16 m de largo, 3 m de ancho y 60 cm de profundidad. El compost se añadirá a las camas ocupando todo el largo y ancho mencionado, pero, con una altura de 40 cm (recomendado para que las lombrices no puedan salir de la cama).

Entonces, el volumen que ocupará el compost en una cama será:

$$\text{Volumen} = 16 \text{ m} * 3 \text{ m} * 0.4 \text{ m}$$

$$\text{Volumen} = 19.2 \text{ m}^3$$

Se sabe que, al mes se estaría produciendo 137 793 kg de humus, es decir 137.793 t. Teniendo presente que 1.5 t = 1 m³, entonces realizando una regla de tres simple para 137.793 t de humus se necesitará 91.862 m³ de espacio en una cama, por lo que, se necesitarían aproximadamente 5 camas para esa cantidad de producción.

El proceso de lombricultura, es de aproximadamente un mes, por lo que, no es necesario aplicar la misma metodología de disposición que las pilas en el área de compostaje, pero, se sabe que, terminado el proceso, es conveniente que el producto se quede en la cama por lo menos 1 semana para la operación de secado, razón por la cual se decide tener dos áreas, de 5 camas cada una.

A continuación, se aplica el método de Gaurchet para determinar el espacio.

- **Superficie estática:** En la Tabla 55, se muestra el resultado de la superficie estática, considerando a las camas como elemento fijo y el tamiz y balanza como elementos móviles; así como los operarios de producción y el encargado del proceso.

Tabla 55. Superficie estática del área de lombricultura

Elementos fijos			
Elemento fijo	Largo (m)	Ancho (m)	Ss (m²)
Camas (área 1)	16	3	48
Camas (área 2)	16	3	48
Elementos móviles			
Elemento móvil	Largo (m)	Ancho (m)	Ss (m²)
Tamiz	2	1	2
Balanza	1	1	1
Encargado del proceso			0.5
Operarios			0.5

- **Superficie de gravitación:** Es la superficie que será usado por el operario y por las camas de lombrices. Se considera 1 como valor de N. En la Tabla 56 se muestra el resultado de esta superficie.

Tabla 56. Superficie de gravitación del área de lombricultura

Elementos fijos			
	Ss	N	Sg (m²)
Camas (área 1)	48	1	48
Camas (área 2)	48	1	48

- **Superficie de evolución:** Para calcular el valor de la superficie de evolución, primero se calcula el valor de k usando la ecuación (6), en la Tabla 57 se muestra la altura de los elementos fijos y móviles.

Tabla 57. Altura de elementos del área de lombricultura

Elemento fijo	Altura (m)
Camas (área 1)	0.6
Camas (área 2)	0.6
Elemento móvil	Altura (m)
Tamiz	2.07
Balanza	1
Encargado del proceso	1.65
Operarios	1.65

H = Altura media de elementos móviles

$$H = \frac{(2*1*2.07)+(1*1*1)+(0.5*1*1.65)+(0.5*2*1.65)}{(2*1)+(1*1)+(0.5*1)*(0.5*2)} = 1.69$$

h = Altura media de elementos fijos

$$h = \frac{(48*5*0.6)+(48*5*0.6)}{(48*5)+(48*5)} = 0.6$$

El valor de K es:

$$k = \frac{1.69}{2*0.6} = 1.41$$

En la Tabla 58 se muestra los resultados de la superficie de evolución.

Tabla 58. Superficie de evolución del área de lombricultura

	Elementos fijos			
	Ss (m ²)	Sg (m ²)	k	Se (m ²)
Camas (área 1)	48	48	1.41	135.36
Camas (área 2)	48	48	1.41	135.36

- **Superficie total:** En la Tabla 59 se muestra el valor de la superficie total del área de lombricultura.

Tabla 59. Superficie total del área de lombricultura

Elementos fijos	Elementos fijos				
	Ss	Sg	Se	n	St (m ²)
Camas (área 1)	48	48	135.36	5	1156.8
Camas (área 2)	48	48	135.36	5	1156.8
Superficie total					2313.6

- **Área de propagación de plantas o vivero**

Actualmente el vivero tiene un área aproximada 50 m². Se seguirá conservando la misma área.

- **Almacén general**

En el almacén general se guardará principalmente las máquinas, las herramientas (se considera relevante tomar las medidas de la carretilla, los demás elementos no ocupan demasiado espacio), materiales de oficina y equipos de protección.

Para comodidad y orden los materiales de oficina se colocarán en un estante al igual que el equipo de protección. Por lo que, se necesitarán 2 estantes parecidos a la Figura 56, cuyas dimensiones son:

- Alto: 1.75 m
- Largo: 0.9 m
- Ancho: 0.3 m



Figura 56. Estante
Fuente: Sodimac (2021)

Aplicando el método de Guerchet se tiene:

- **Superficie estática:** En la Tabla 60, se muestra el resultado de la superficie estática, considerando a los estantes como elementos fijos y como elementos móviles a las máquinas, herramientas y al encargado del almacén.

Tabla 60. Superficie estática del almacén general

Elementos fijos			
Elementos fijos	Largo (m)	Ancho (m)	Ss (m²)
Trituradora	1.9	1.7	3.23
Balanza industrial	1.2	1.2	1.44
Volteadora de compost	5.7	5.17	29.47
Tamiz	2	1	2
Balanza de plataforma	1	1	1
Carretilla	0.72	0.47	0.34
Elementos móviles			
Asistente de almacén			0.5

- **Superficie de gravitación:** Esta superficie no es considerada porque no hay elementos móviles ya que, las máquinas y/o herramientas solo se guardarán en el lugar.
- **Superficie de evolución:** Para calcular el valor de la superficie de evolución, primero se calcula el valor de k usando la ecuación (6), en la Tabla 61 se muestra la altura de los elementos fijos y móviles.

Tabla 61. Altura de elementos del área de almacén general

Elemento fijo	Altura (m)
Trituradora	1.61
Balanza industrial	1
Volteadora de compost	2
Tamiz	2.07
Balanza de plataforma	1
Carretilla	0.82
Elemento móvil	Altura (m)
Asistente de almacén	1.65

H = Altura media de elementos móviles

$$H = \frac{(0.5 * 1 * 1.65)}{(0.5 * 1)} = 1.65$$

h = Altura media de elementos fijos

$$h = \frac{(0.27 * 2 * 1.75) + (3.23 * 1 * 1.61) + (1.44 * 1 * 1) + (29.47 * 1 * 2) + (2 * 1 * 2.07) + (1 * 1 * 1) + (0.34 * 4 * 0.82)}{(0.27 * 2) + (3.23 * 1) + (1.44 * 1) + (29.47 * 1) + (2 * 1) + (1 * 1) + (0.34 * 4)}$$

$$h = 1.87$$

El valor de K es:

$$k = \frac{1.65}{2 * 1.87} = 0.44$$

En la Tabla 62 se muestra los resultados de la superficie de evolución.

Tabla 62. Superficie de evolución del área de almacén general

Elemento fijo	Ss (m ²)	k	Se (m ²)
Estante	0.27	0.44	0.12
Trituradora	3.23	0.44	1.42
Balanza industrial	1.44	0.44	0.63
Volteadora de compost	29.47	0.44	12.97
Tamiz	2	0.44	0.88
Balanza de plataforma	1	0.44	0.44
Carretilla	0.34	0.44	0.15

- **Superficie total:** En la Tabla 63 se muestra el valor de la superficie total del área de lombricultura.

Tabla 63. Superficie total del área de almacén general

Elementos fijos	Ss	Se	n	St (m ²)
Estante	0.27	0.12	2	0.78
Trituradora	3.23	1.42	1	4.65
Balanza industrial	1.44	0.63	1	2.07
Volteadora de compost	29.47	12.97	1	42.44
Tamiz	2	0.88	1	2.88
Balanza de plataforma	1	0.44	1	1.44
Carretilla	0.34	0.15	4	1.96
Superficie total				56.22

- **Zona de ingreso y salida de vehículos de personal**

En cuanto a la zona de ingreso, el ancho de la carretera será de 6 m. Para determinar el largo aproximado, se tomará como base los diagramas de interrelaciones (Figura 52 y Figura 53), la carretera puede ser diseñada en forma de una U; pasando por el área de recepción de materia prima y el área de productos terminados, de tal manera que al ingresar el vehículo se dirija a cualquiera de las dos áreas y pueda salir por la misma puerta principal.

Para llegar al área de productos terminados se debe pasar primero por el área de almacén general el cual tiene un largo de 8 metros, y el área de recepción de materia prima tiene un largo de 12.11 metros, entonces el largo aproximado sería de 20.11 metros. Como se muestra en la Figura 57.

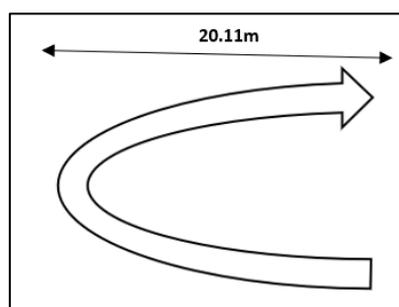


Figura 57. Zona de ingreso y salida de vehículos

- **Área de productos terminados**

Para determinar el área de productos terminados, se tomará en cuenta las dimensiones de los sacos, las cuales aproximadamente son (considerándolo echado): 0.6 metros de largo, 0.4 metros de ancho y 0.1 m de altura; y pudiendo colocar en cada uno hasta 50 kg de producto.

Los sacos serán colocados sobre parihuelas, las dimensiones de la parihuela son de: 1.2 m de largo, 1.2 m de ancho y 0.15 m de altura. Según el Manual Técnico: Lombricultura “Techo a dos aguas”, recomienda que, se puede colocar hasta 5 sacos de altura para evitar la compactación (2013). Por lo tanto, en cada parihuela se colocarán 6 sacos de humus en 5 niveles, por lo que, en una parihuela se almacenan 30 sacos de humus.

Sabiendo que, al mes se pueden producir 2 755.9 sacos se necesitarían 92 parihuelas. Por lo que, el área necesaria para almacenar los productos terminados será de:

$$\text{Área necesaria: } 92 * 1.2 * 1.2 = 132.48 \text{ m}^2$$

Para retirar el producto del almacén los mismos trabajadores (operarios de producción) cargarán los sacos ubicados en las parihuelas para la entrega final del cliente, por lo que, se considerará un espacio de 1 m (pasillos de 1 m) para dar mayor comodidad al operario.

El diseño será como se muestra en la Figura 58. Por lo que, se adicionará 19 espacios de 1 m (en el largo del área) y 4 espacios de 1 m (en el ancho del área), siendo un total de: $23 * 1 \text{ m} = 23 \text{ m}$, es decir 4.79 m^2 .

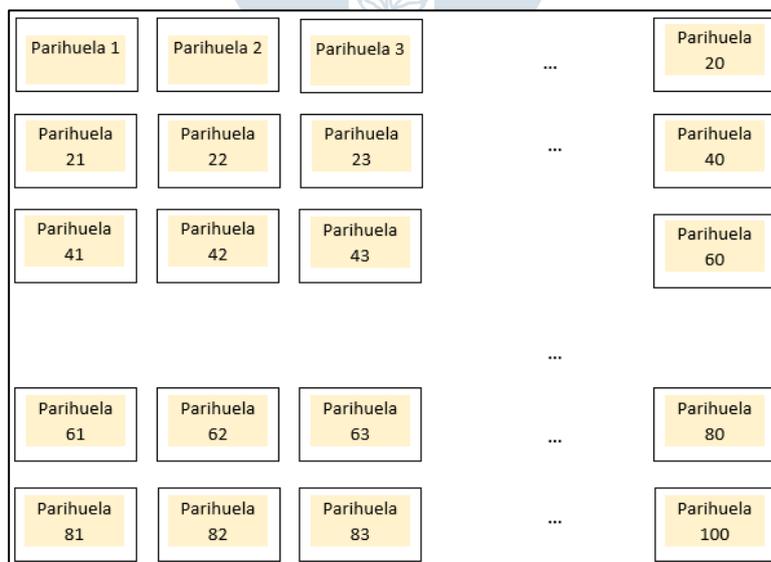


Figura 58. Almacén de productos terminados

El área total para el almacén de productos terminados será de 137.27 m^2 .

En la Tabla 64 se muestra la superficie en m², de cada una de las áreas. Siendo un total de 15 262.6 m².

Tabla 64. Superficie de áreas

Área	m ²
Oficinas	43
Baños para oficinas	6
Recepción de materia prima	146.8
Compostaje	12 322.8
Lombricultura	2313.6
Vivero	50
Almacén general	56.22
Almacén de productos terminados	137.27
Caseta de vigilancia	3.75
Zona de ingreso y salida de vehículos y personal	120.66
Baños y vestidores	22.5
Comedor	40
Total	15 262.6

4.5.5 Diagrama de bloques

En base al diagrama de interrelaciones y a las dimensiones establecidas en el apartado 4.5.4, se construye el diagrama de bloques para el diagrama de interrelaciones 1 y para el diagrama de interrelaciones 2. En la Figura 59 se muestra el diagrama de bloques 1, en la Figura 60 el diagrama de bloques 2.

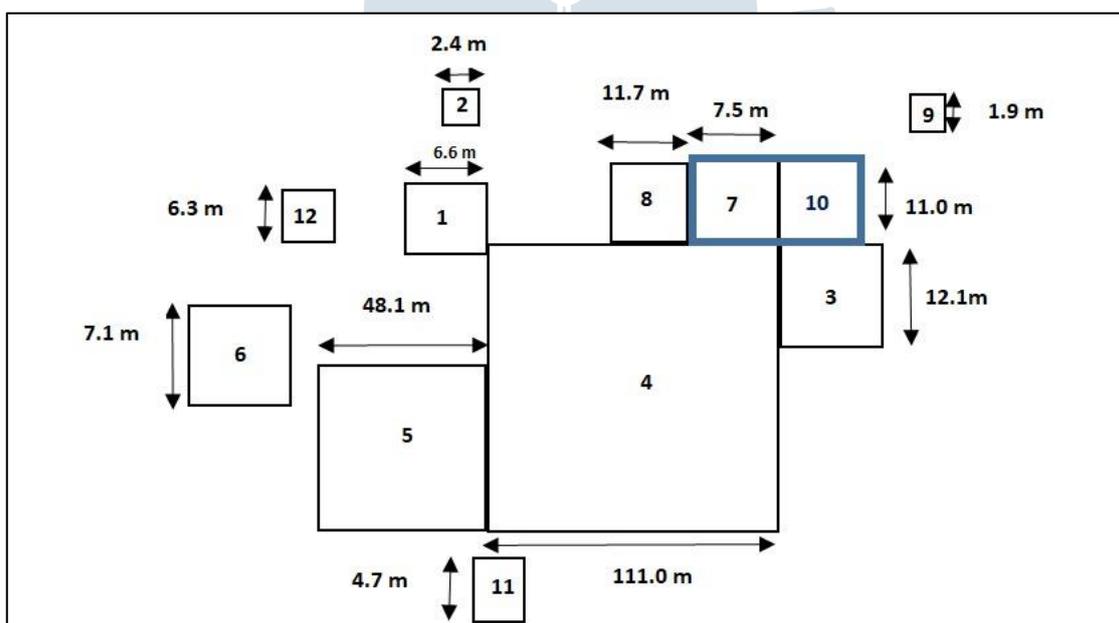


Figura 59. Diagrama de bloques 1

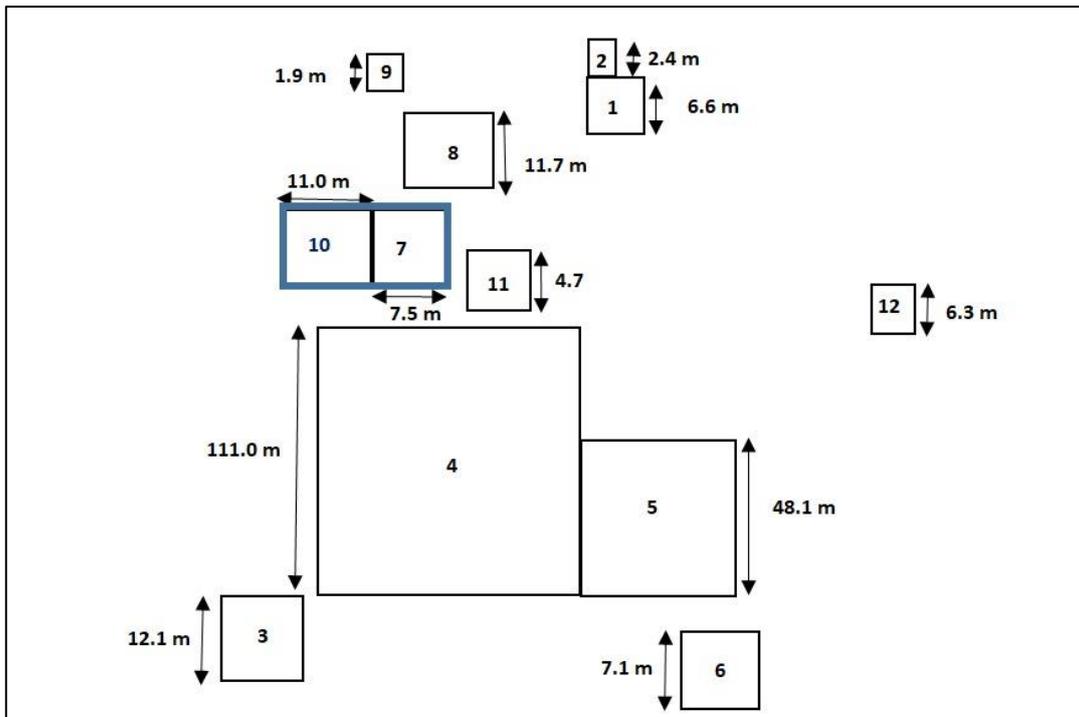


Figura 60. Diagrama de bloques 2

4.5.6 Layouts alternativos

Después de realizar el diagrama de bloques, se diseñan dos posibles layouts. Como se muestra en la Figura 61 y Figura 62.

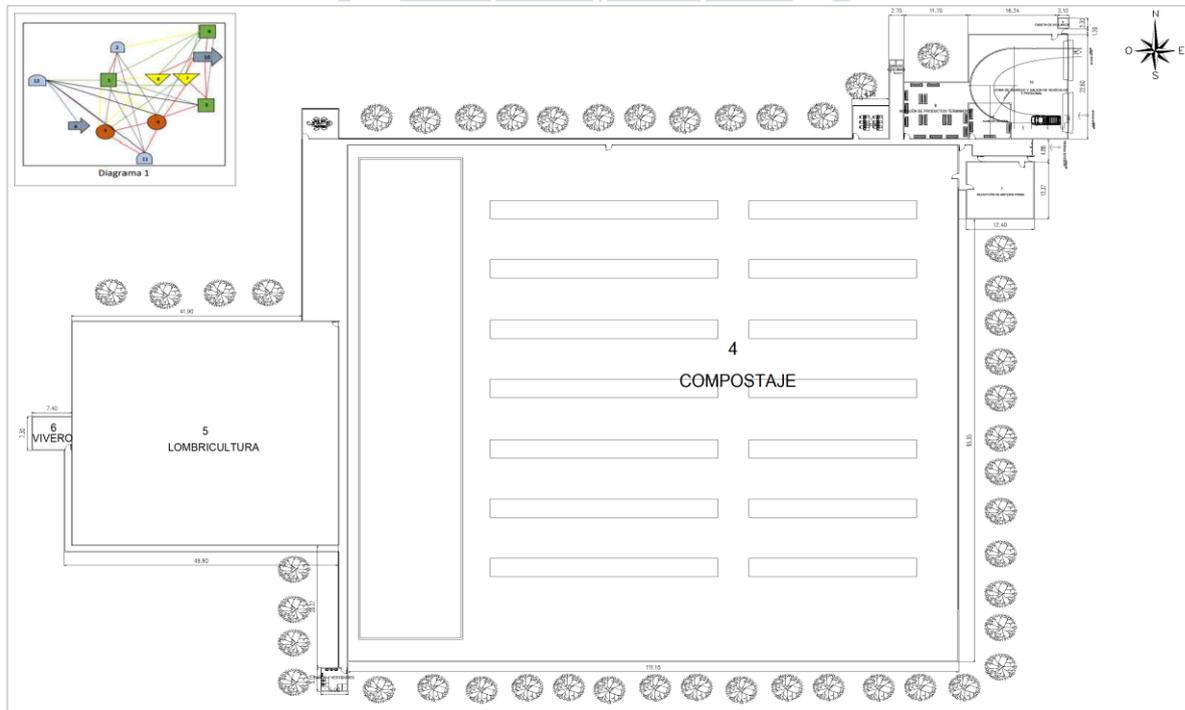


Figura 61. Layout 1

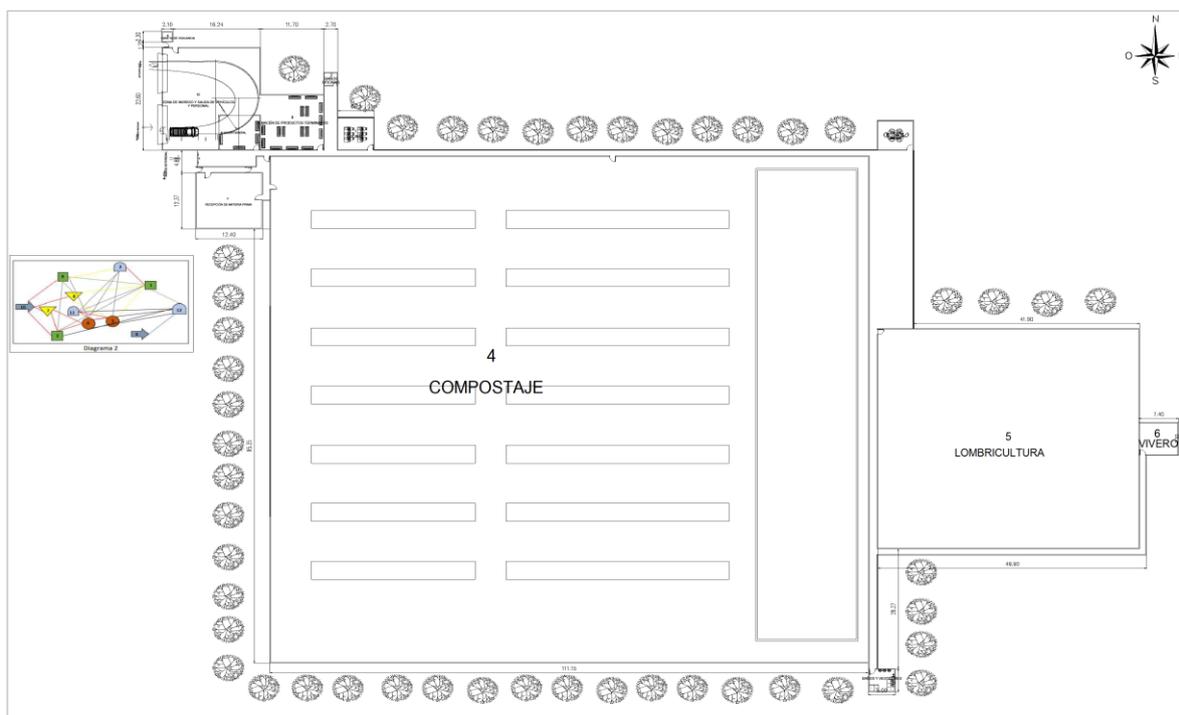


Figura 62. Layout 2

4.5.7 Evaluación multicriterio

Se realizará una evaluación considerando los criterios mostrados en la Tabla 65 y el puntaje, el diagrama que obtenga el mayor puntaje será la mejor opción para la distribución de la planta.

Tabla 65. Evaluación multicriterio

Criterios	Importancia %	Diagrama 1		Diagrama 2	
		Puntaje	Calificación	Puntaje	Calificación
Menor recorrido	30%	5	1.5	4	1.2
Mejor ajuste a las interrelaciones	40%	5	2	4	1.6
Mejor comodidad para el trabajador	20%	5	1	3	0.6
Menor área total	10%	3	0.3	5	0.5
TOTAL	100%		4.8		3.9

Como se puede observar el diagrama 1 es el que tiene mayor calificación (4.8). Entonces, la mejor propuesta para la distribución de las áreas sería el diagrama 1.

4.6 Localización de planta

El área total necesaria para la planta es de aproximadamente 15 262.6 m², teniendo espacio suficiente para seguir usando el mismo terreno en el que se viene realizando el proceso de compostaje, el cual tiene una expansión de 2.3 hectáreas.

Además, cuenta con las condiciones adecuadas como: servicio de agua, luz, se encuentra cerca de la ciudad, el tipo de suelo es arcilloso, y, además, la municipalidad no paga por el terreno (por previos acuerdos con el dueño).

Este terreno está ubicado aproximadamente a 5 minutos de la ciudad y tiene como coordenadas (WGS-84) en E: 594012 N:9436686 (Gerencia de Servicio a la comunidad y Gestión Ambiental, MPMCH, 2019). Ver Figura 63.



Figura 63. Ubicación satelital de la planta de compostaje
Fuente: Gerencia de Servicio a la comunidad y Gestión Ambiental (2019)

4.7 Estructura organizacional

En el presente capítulo, se determina el organigrama de la organización considerando al personal necesario para laborar en planta. Así mismo, se muestra el Manual de Organización y Función (MOF), en el cual se detalla las características principales a considerar para la toma del cargo correspondiente.

4.7.1 Organigrama

La planta seguirá siendo administrada por la Municipalidad Provincial de Morropón – Chulucanas, directamente por la Gerencia de servicios a la comunidad y gestión ambiental.

Dentro de la organización de la planta, se contará con un Gerente General, una subgerencia de operaciones y una subgerencia de contabilidad y finanzas. Para la subgerencia de operaciones, se tendrá un jefe de producción, de logística y calidad; y para la subgerencia de contabilidad y finanzas, se tendrá un jefe de contabilidad y un jefe de finanzas.

El jefe de logística ejercerá supervisión al asistente de almacén. El jefe de producción supervisará al encargado del proceso de compostaje y al de lombricultura.

En la Figura 64, se muestra el organigrama de la empresa.

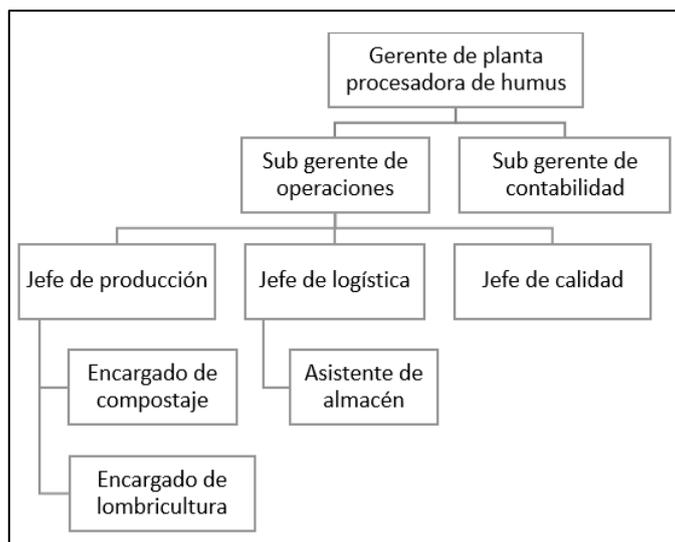


Figura 64. Organigrama

4.7.2 Manual de organización y funciones (MOF)

El Manual de organización y función (MOF) es un documento formal en la que se determinan las características principales a considerar para cargos específicos dentro de una organización.

Para la elaboración de este manual de organización y función se ha determinado considerar la siguiente información para cada uno de los cargos: Cargo, unidad orgánica, código, descripción del cargo, funciones principales, línea de autoridad y requisitos mínimos. Desde la Tabla 66 hasta la Tabla 74 puede observarse esta información.

Tabla 66. MOF Gerente

Cargo	Gerente de planta procesadora de humus
Unidad orgánica	Unidad de dirección
Código	GGPPH
Descripción del cargo	Es la máxima autoridad dentro de la planta industrial, puesto que, se encuentra en el primer nivel dentro de la estructura organizacional. Así como, la persona con responsabilidad última sobre todas las actividades de las áreas.
Funciones principales	<p>Sus principales funciones serán:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Liderar la organización, siendo el portavoz interno y externo. • Planificar, organizar y supervisar todas las actividades que se realicen dentro de la planta. • Administrar los recursos tangibles e intangibles. • Analizar y tomar las decisiones más importantes para la organización.
Línea de autoridad	<p>Depende de: Gerencia de servicios a la comunidad y gestión ambiental de la Municipalidad Provincial de Morropón-Chulucanas.</p> <p>Ejerce supervisión sobre: Subgerente de operaciones y subgerente de contabilidad.</p>

Requisitos mínimos	<p>Formación académica: Ingeniería industrial, Administración de empresas o carreras afines.</p> <p>Experiencia: 3 años como mínimo en cargos de alta gerencia.</p> <p>Competencias: Liderazgo, trabajo en equipo, comunicación, planificación y control, finanzas, estrategia, gobernanza.</p> <p>Conocimientos básicos: Ms Office avanzado, inglés avanzado</p>
---------------------------	---

Tabla 67. MOF de Subgerente de operaciones

Cargo	Sub gerente de operaciones
Unidad orgánica	Unidad consultiva
Código	SGO
Descripción del cargo	Se encuentra en el segundo nivel dentro de la estructura organizacional. Es la persona con responsabilidad última sobre todas las actividades de las áreas de producción, logística y calidad.
Funciones principales	<p>Sus principales funciones serán:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Analizar y optimizar los procesos de las áreas de producción, logística y calidad, identificando aquellos que son necesarios; planificando medidas preventivas y correctivas. • Gestionar toda la cadena de suministro, desde, la obtención de la materia prima hasta la entrega del producto final al cliente. • Gestionar el sistema de calidad, principalmente, el del proceso de producción y calidad del producto final. • Garantizar el buen funcionamiento de la producción.
Línea de autoridad	<p>Depende de: Gerente general de planta procesadora de humus</p> <p>Ejerce supervisión sobre: Jefe de producción, jefe de logística y jefe de calidad.</p>
Requisitos Mínimos	<p>Formación académica: Ingeniería industrial</p> <p>Experiencia: 5 años como mínimo en cargos similares.</p> <p>Competencias: Planificación y control, calidad, alcance, tiempo, integridad personal y fiabilidad, trabajo en equipo, estrategia.</p> <p>Conocimientos básicos: Ms office avanzado, inglés intermedio.</p>

Tabla 68. MOF de Subgerente de contabilidad

Cargo	Sub gerente de contabilidad
Unidad orgánica	Unidad consultiva
Código	SGC
Descripción del cargo	Se encuentra en el segundo nivel dentro de la estructura organizacional. Es la persona responsable de todas las actividades del área de contabilidad.
Funciones principales	<p>Sus principales funciones serán:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gestionar y realizar las operaciones contables y tributarias en los plazos establecidos. • Realizar los estados financieros, realizando una correcta definición y registro. • Asegurar el cumplimiento de los procesos contables y administrativos
Línea de autoridad:	Depende de: Gerente general de planta procesadora de humus
Requisitos Mínimos	<p>Formación académica: Contabilidad</p> <p>Experiencia: 2 años como mínimo en cargos como sub gerente de contabilidad.</p>

Cargo	Sub gerente de contabilidad
	Competencias: Planificación y control, trabajo en equipo, estrategia.
	Conocimientos básicos: Excel avanzado, inglés intermedio y leyes contables.

Tabla 69. MOF de jefe de producción

Cargo	Jefe de producción
Unidad orgánica	Unidad de control
Código	JP
Descripción del cargo	Se encuentra en el tercer nivel dentro de la estructura organizacional. Es la persona responsable de las actividades del área de producción.
Funciones principales	<p>Sus principales funciones serán:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Planificar y gestionar los recursos involucrados en el proceso de producción (equipos, máquinas y el desempeño de los trabajadores) • Supervisar la producción, desde la primera etapa del proceso productivo hasta obtener el producto. • Planificar la producción, estableciendo un cronograma de actividades.
Línea de autoridad	Depende de: Sub gerente de operaciones
	Ejerce supervisión sobre: Encargado de compostaje y encargado de lombricultura.
Requisitos Mínimos	<p>Formación académica: Ingeniería industrial o carreras afines</p> <p>Experiencia: 2 años como mínimo en cargos similares</p> <p>Competencias: Recursos, planificación y control, orientación a resultados, trabajo en equipo.</p> <p>Conocimientos básicos: Excel intermedio, inglés básico.</p>

Tabla 70. MOF de jefe de logística

Cargo	Jefe de logística
Unidad orgánica	Unidad de control
Código	JL
Descripción del cargo	Se encuentra en el tercer nivel dentro de la estructura organizacional. Es la persona responsable de las actividades del área de logística.
Funciones principales	<p>Sus principales funciones serán:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Optimizar el proceso de transporte, reduciendo tiempos y costos de traslado del producto final. • Gestionar el almacenamiento de los materiales, equipos o insumos de la cadena de suministro.
Línea de autoridad	Depende de: Sub gerente de operaciones
	Ejerce supervisión sobre: Asistente de almacén
Requisitos Mínimos	<p>Formación académica: Administración, ingeniería industrial o carreras afines.</p> <p>Experiencia: 2 años como mínimo en cargos similares.</p> <p>Competencias: Alcance, tiempo, organización e información, aprovisionamiento, trabajo en equipo, estrategia.</p> <p>Conocimientos básicos: Ms Office avanzado, inglés intermedio.</p>

Tabla 71. MOF de jefe de calidad

Cargo	Jefe de calidad
Unidad orgánica	Unidad de control
Código	JC
Descripción del cargo	Se encuentra en el tercer nivel dentro de la estructura organizacional. Es la persona responsable de las actividades del área de calidad. Sus principales funciones serán:
Funciones principales	<ul style="list-style-type: none"> • Garantizar que, el producto final se encuentre en optima condición para que pueda cumplir con su propósito. • Elaborar estándares de calidad y mejora continua • Controlar los parámetros físicos-químicos durante el proceso de producción.
Línea de autoridad	Depende de: Sub gerente de operaciones
Requisitos Mínimos	<p>Formación académica: Ingeniería ambiental, técnico químico.</p> <p>Experiencia: 1 año como mínimo en cargos similares.</p> <p>Competencias: Calidad, comunicación, Organización e información, trabajo en equipo</p> <p>Conocimientos básicos: Sistemas de gestión de calidad, Programas estadísticos, excel intermedio, inglés básico</p>

Tabla 72. MOF de Asistente de almacén

Cargo	Asistente de almacén
Unidad orgánica	Unidad de apoyo
Código	AA
Descripción del cargo	Se encuentra en el cuarto nivel dentro de la estructura organizacional. Es la persona responsable de las actividades del almacén general. Sus principales funciones serán:
Funciones principales	<ul style="list-style-type: none"> • Recepción de materia prima, materiales y equipos adquiridos. • Distribuir materiales y equipos al personal y en el momento requerido. • Autorizar la salida del producto final. • Reportar daños o anomalías en los productos que se encuentren en almacén.
Línea de autoridad	Depende de: Jefe de logística
Requisitos Mínimos	<p>Formación académica: Bachiller en administración de empresas, Ingeniería Industrial o carreras afines.</p> <p>Experiencia: 1 año como mínimo en cargos similares.</p> <p>Competencias: Comunicación personal, relaciones y participación aprovisionamiento, estrategia.</p> <p>Conocimientos básicos: Control de inventarios y manejo de Kárdex, Excel intermedio, inglés básico</p>

Tabla 73. MOF encargado de compostaje

Cargo	Encargado de compostaje
Unidad orgánica	Unidad de apoyo
Código	EC
Descripción del cargo	Se encuentra en el cuarto nivel dentro de la estructura organizacional. Es la persona responsable de las actividades del proceso de compostaje.

Cargo	Encargado de compostaje
Funciones principales	<p>Sus principales funciones serán:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Supervisar todas las fases del proceso de compostaje. • Organizar un cronograma para realizar las actividades del proceso. • Cuidar que la cantidad de materia prima e insumos sean los adecuados. • Mantener coordinación con el encargado del control de calidad.
Línea de autoridad	Depende de: Jefe de producción
Requisitos Mínimos	<p>Formación académica: Técnico en agroindustria Experiencia: 1 año como mínimo en cargos similares. Competencias: Comunicación personal, relaciones y participación Conocimientos básicos: Proceso de compostaje.</p>

Tabla 74. MOF encargado de lombricultura

Cargo	Encargado de lombricultura
Unidad orgánica	Unidad de apoyo
Código	EL
Descripción del cargo	Se encuentra en el cuarto nivel dentro de la estructura organizacional. Es la persona responsable de las actividades del proceso de lombricultura.
Funciones principales	<p>Sus principales funciones serán:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Supervisar todas las fases del proceso de lombricultura. • Organizar un cronograma para realizar las actividades del proceso. • Mantener coordinación con el encargado del control de calidad.
Línea de autoridad	Depende de: Jefe de producción
Requisitos Mínimos	<p>Formación académica: Técnico en agroindustria Experiencia: 1 año como mínimo en cargos similares. Competencias: Comunicación personal, relaciones y participación, estrategia. Conocimientos básicos: Proceso de lombriculuta.</p>

Capítulo 5

Análisis de presupuesto y financiamiento

En este capítulo se evalúa el presupuesto para la planta de producción de humus en la ciudad de Chulucanas, para el cual, se realiza el flujo económico en un horizonte de tiempo de cinco años. Además, de evaluar el financiamiento mediante los indicadores del valor actual neto y la tasa de retorno, además de buscar las posibles fuentes de financiamiento.

5.1 Presupuesto

Es muy importante determinar el presupuesto, ya que, es necesario para evaluar el flujo económico. El presupuesto involucra: presupuesto de inversión, presupuesto de ingresos y el presupuesto de costos y gastos.

5.1.1 Presupuesto de inversión

Para determinar el presupuesto de inversión, se ha calculado el presupuesto de activo tangible, correspondiente a: maquinaria, herramienta, equipo de control de calidad, equipos de protección personal, materiales e infraestructura, tal como se puede observar desde la Tabla 75 hasta la Tabla 80. Al presupuesto del activo tangible se le suma el activo intangible (Tabla 81), obteniéndose el presupuesto de inversión de 317 264.53, ver Tabla 82.

- Activo tangible

Tabla 75. Maquinaria

Maquinaria	Unidad de medida	Cantidad	Valor unitario (S/)	Total (S/)
Volquete de 8 m ³	Unidad	1	126 135.76	126 135.76
Trituradora de 16 HP	Unidad	1	9 300.05	9 300.05
Balanza industrial de 2 000 kg	Unidad	1	4 472.96	4 472.96
Volteadora de compost	Unidad	1	117 712.0	117 712.00
Tamiz vibratorio	Unidad	1	2 758.87	2 758.87
Balanza de plataforma	Unidad	1	209.67	209.67
Total				260 589.31

Tabla 76. Herramientas

Herramienta	Unidad de medida	Cantidad	Valor unitario (S/)	Total (S/)
Machete	Unidad	6	19.9	119.4
Rastrillo	Unidad	8	29.9	239.2
Pala de cuchara	Unidad	8	27.9	223.2
Pala recta	Unidad	5	39.9	199.5
Manguera de 50 metros	Unidad	2	209.9	419.8
Carretilla	Unidad	4	279.9	1119.6
Martillo	Unidad	5	16.9	84.5
Alicate	Unidad	5	12.9	64.5
Total				2469.7

Tabla 77. Equipo de control de calidad

Equipo para control de calidad	Unidad de medida	Cantidad	Valor unitario (S/)	Total (S/)
Medidor de pH y temperatura	Unidad	1	889.11	889.11
Medidor de humedad	Unidad	1	138.61	138.61
Total				1027.72

Tabla 78. Equipos de protección personal y señales de seguridad

Equipos de protección personal/Señales de seguridad	Unidad de medida	Cantidad	Costo unitario (S/)	Total (S/)
Señaléticas	Unidad	20	6	120
Extintores	Unidad	2	40.9	81.8
Cascos de seguridad	Unidad	15	15.9	238.5
Botas de hule	Unidad	15	20	300
Mascarilla descartable (1 caja de 50 unid.)	Caja	10	11	110
Protectores auditivos	Unidad	20	1.7	34
Guantes de nitrón	Unidad	10	20	200
Chalecos reflectable	Unidad	10	45	450
Pantalón drill (diferentes tallas)	Unidad	10	30	300
Camisa drill (diferentes tallas)	Unidad	10	35	350
Total				2184.3

Tabla 79. Materiales

Materiales	Unidad de medida	Cantidad	Valor unitario (S/)	Total (S/)
Escritorio de oficina	Unidad	8	89	712
Silla	Unidad	12	22	264
Laptop	Unidad	8	2 000	16 000
Pizarra acrílica	Unidad	2	36	72
Papelera	Unidad	8	29	232
Impresora Multifuncional	Unidad	2	800	1600
Estante	Unidad	2	350	700
Tablones de madera 3/4" x 8" x 10.5"	Unidad	20	26.9	538
Clavos de construcción	Kilogramos	5	6.3	31.5
Malla raschel 80 % color verde 100 metros	Rollos	1	1 000	1000

Materiales	Unidad de medida	Cantidad	Valor unitario (S/)	Total (S/)
Tubos de PVC de 4"	Unidad	20	17.2	344
Parihuela	Unidad	100	15	1500
Total				22 993.5

Tabla 80. Infraestructura

Infraestructura	Unidad de medida	Cantidad	Valor unitario (S/)	Total (S/)
Construcción	Unidad	1	28 000.00	28 000.00
Terreno	Unidad	1	0	0
Total				28 000.00

- **Activo intangible**

Tabla 81. Capacitaciones

Capacitaciones	Unidad de medida	Cantidad	Valor unitario (S/)	Total(S/)
Manejo de residuos sólidos	Unidad	1	500.00	500.00
Técnica de compostaje	Unidad	1	500.00	500.00
Técnica de lombricultura	Unidad	1	500.00	500.00
Total				1500.00

El presupuesto de inversión será la suma de los costos de los activos tangibles e intangibles:

Tabla 82. Presupuesto de inversión

Activo	Total (S/)
Tangible	317 264.53
Intangible	1 500.00
Presupuesto de inversión	318 764.53

5.1.2 Presupuesto de ingresos

La planta tendrá una capacidad de producción de 2 755.9 sacos de humus por mes. Suponiendo que, se produce toda la cantidad estimada; al año se tendría 33 070.8 sacos. El precio de mercado de un saco de 50 kg de humus se encuentra entre 25 a 45 soles. Dado que, el financiamiento está a cargo principalmente de la Municipalidad Provincial de Morropón – Chulucanas, y que, actualmente el producto no es vendido, sino que, es donado, se puede considerar el precio mínimo de 20 soles por saco, con el objetivo, de cubrir los costos y gastos generados para obtener el producto (En el apéndice, se puede observar que, si el precio desciende de 20 soles, no se generaría ganancias).

En la siguiente tabla se muestra el presupuesto de ingresos por año.

Tabla 83. Presupuesto de inversión

Ingreso de ventas por año	
Cantidad de sacos (unidades)	33 070.8
Precio por saco (50 kg) con IGV	S/ 20.00
Ingreso por ventas	S/661 416.00

5.1.3 Presupuesto de costos y gastos

El presupuesto de costos y gastos involucra los gastos preoperativos, costos directos y costos indirectos.

- **Gastos preoperativos**

Como gastos preoperativos se ha determinado el costo de un plano arquitectónico.

Tabla 84. Gastos preoperativos

Tipo	Soles (S/)
Plano arquitectónico	7000.00
Total	7000.00

- **Costos directos**

En la Tabla 85, se muestra el total de costos directos S/14,050.00. No se consideran costos de materia prima, puesto que, los residuos se recolectan de la ciudad.

Tabla 85. Costos directos

Tipo	No se tienen costos de materia prima		
Materia prima	No se tienen costos de materia prima		
Insumos	Unidad	Cantidad	Total (S/)
Lombrices	Kg	40	450.00
			1 650.00
Mano de obra	Cantidad	Costo unitario (S/)	Total (S/)
Encargado de compostaje	1	1200	1 200.00
Encargado de lombricultura	1	1200	1 200.00
Operarios de producción (8 obreros en compostaje y 2 obreros en lombricultura)	10	1000	10 000.00
			12 400.00
Total costos directos			14 050.00

- **Costos indirectos**

En la Tabla 86, se muestra la cantidad de costos indirectos, el cual es S/26,697.00. Se ha considerado los costos de los sueldos del personal, materiales de oficina, transporte, mantenimiento y servicios.

Tabla 86. Costos indirectos

Costos indirectos			
Sueldo de personal	Cantidad	Costo unitario (S/)	Total (S/.)
Gerente	1	4 692.00	4 692.00
Sub gerente de operaciones	1	3 141.00	3 141.00
Sub gerente de contabilidad	1	3 141.00	3 141.00
Jefe de logística	1	2 830.00	2 830.00
Jefe de calidad	1	3 035.00	3 035.00
Jefe de producción	1	2 938.00	2 938.00
Asistente de almacén	1	1 200.00	1 200.00
Vigilante	1	1 220.00	1 220.00
Total sueldo de personal			22 197.00
Materiales de oficina			1 000.00
Transporte			500.00
Mantenimiento			1 000.00
Servicios (luz, agua, internet)			2 000.00
Total			26 697.00

5.1.4 Flujo económico

Para evaluar el flujo económico se realiza el flujo de caja durante el primer año. La Tabla 87 , detalla los ingresos, costos de producción, gastos administrativos y la utilidad bruta.

Tabla 87. Flujo de caja

Primer año	Ingresos	Costos de producción	Gastos administrativos	Utilidad bruta
Enero	S/55,118.00	S/14,050.00	S/26,697.00	S/14,371.00
Febrero	S/55,118.00	S/14,050.00	S/26,697.00	S/14,371.00
Marzo	S/55,118.00	S/14,050.00	S/26,697.00	S/14,371.00
Abril	S/55,118.00	S/14,050.00	S/26,697.00	S/14,371.00
Mayo	S/55,118.00	S/14,050.00	S/26,697.00	S/14,371.00
Junio	S/55,118.00	S/14,050.00	S/26,697.00	S/14,371.00
Julio	S/55,118.00	S/14,050.00	S/26,697.00	S/14,371.00
Agosto	S/55,118.00	S/14,050.00	S/26,697.00	S/14,371.00
Setiembre	S/55,118.00	S/14,050.00	S/26,697.00	S/14,371.00
Octubre	S/55,118.00	S/14,050.00	S/26,697.00	S/14,371.00
Noviembre	S/55,118.00	S/14,050.00	S/26,697.00	S/14,371.00
Diciembre	S/55,118.00	S/14,050.00	S/26,697.00	S/14,371.00
TOTAL	S/661,416.00	S/168,600.00	S/320,364.00	S/172,452.00

Para elaborar el flujo económico se considerará tres meses de capital de trabajo, porque, el primer lote de producción estará listo en tres meses (tiempo de producción de humus). Por lo tanto, el capital de trabajo es de S/122,241.00; considerando para el primer año, solo nueve meses, debido, a que los tres primeros están incluidos en el capital de trabajo.

Por otro lado, se determina un incremento anual de ingresos del 2%, con una inflación anual del 2% y una tasa de impuestos del 29.5%.

Para obtener el costo de la depreciación, se ha usado la siguiente fórmula:

$$\text{depreciación} = \frac{\text{valor de compra} - \text{valor de venta}}{\text{tiempo de vida}}$$

Se determina la depreciación de las máquinas, considerando un valor de venta de cero. En la Tabla 88, se muestra a detalle los costos de depreciación en 5 años.

Tabla 88. Depreciación de maquinaria

Máquina	Depreciación (S/)
Volquete	25,227.152
Trituradora	1,860.01
Balanza industrial	894.592
Volteadora de compost	23,542.4
Tamiz vibratorio	551.774
Total	S/52,075.93

Con los datos anteriores, se elabora el flujo económico (ver Tabla 89).

Tabla 89. Flujo económico

Año	0	1	2	3	4	5
(Inversión)	318,764.5					
(Capital de trabajo)	122,241.0					
Ingresos		661,416.0	674,644.3	674,908.8	674,914.1	674,914.28
(Costos directos)		126,450.0	171,972.0	175,411.4	178,919.7	182,498.06
(Gastos preoperativos)		7,000.00				
(Gastos administrativos)		240,273.0	326,771.3	333,306.7	339,972.8	346,772.30
Utilidad bruta		287,693.0	175,901.0	166,190.7	156,021.7	145,643.92
(Depreciación)		52,075.93	52,075.9	52,075.93	52,075.93	52,075.93
UdD		235,617.0	123,825.1	114,114.8	103,945.7	93,568.00
(Impuestos)		69,507.04	36,528.4	33,663.87	30,663.99	27,602.56
UdDdi		166,110.0	87,296.7	80,450.94	73,281.75	65,965.44
Depreciación		52,075.93	52,075.9	52,075.93	52,075.93	52,075.93
Flujo económico(S/)	-441,005.5	218,185.9	139,372.6	132,526.8	125,357.6	118,041.3

5.2 Financiamiento

Se evaluará el valor actual neto, la tasa interna de retorno y el periodo de recupero del capital.

5.2.1 Valor actual neto (VAN)

Para encontrar el valor actual neto, se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{VAN} = -I + \frac{F_1}{(1+i)^1} + \frac{F_2}{(1+i)^2} + \frac{F_3}{(1+i)^3} + \frac{F_4}{(1+i)^4} + \frac{F_5}{(1+i)^5} \quad (11)$$

Donde:

I = Inversión

F_n = Flujo neto en el periodo n

i = Tasa de descuento

Se considera una tasa de descuento de 15 % ($i=0.15$), y se toma como base el flujo económico de la Tabla 89.

$$\begin{aligned} \text{VAN} = & -S/441,005.53 + \frac{S/218,185.96}{(1+0.15)^1} + \\ & \frac{S/139,372.63}{(1+0.15)^2} + \frac{S/132,526.87}{(1+0.15)^3} + \frac{S/125,357.68}{(1+0.15)^4} + \frac{S/118,041.37}{(1+0.15)^5} \\ \text{VAN} = & 71,606.77 \end{aligned}$$

El VAN obtenido es mayor a cero, lo que indica que existe ganancia y que, por lo tanto, es bueno llevar a cabo la propuesta.

5.2.2 Tasa interna de retorno (TIR)

Por el contrario, para obtener la tasa interna de retorno, la ecuación anterior equivale a 0, y se obtiene una tasa interna de:

$$\begin{aligned} 0 = & -S/441,005.53 + \frac{S/218,185.96}{(1+i)^1} + \\ & \frac{S/139,372.63}{(1+i)^2} + \frac{S/132,526.87}{(1+i)^3} + \frac{S/125,357.68}{(1+i)^4} + \frac{S/118,041.37}{(1+i)^5} \\ & i = 23\% \end{aligned}$$

La tasa interna de retorno es del 23%, mayor a la mejor opción de inversión (15%), lo que indica que el retorno de inversión es favorable.

5.2.3 Periodo de recupero de capital

Analizando el flujo económico, se puede determinar que el periodo de recuperación del capital es de aproximadamente dos años. Por lo tanto, al finalizar el segundo año, ya se estaría recuperando la inversión inicial.

5.2.4 Fuentes de financiamiento

La principal fuente de financiamiento de la planta de producción de humus en la ciudad de Chulucanas será la Municipalidad Provincial de Morropón – Chulucanas, pues, es la municipalidad la encargada de la recolección de residuos sólidos. Además, es la principal interesada en llevar a cabo esta propuesta, pues, uno de sus objetivos es reducir la contaminación emitida por los residuos y evitar llevarlos al botadero municipal, pudiendo usar los residuos orgánicos para la producción de humus, el cual es un buen producto para las plantas.

Conclusiones

El control de los parámetros de temperatura, humedad y pH realizados durante el proceso de producción de humus, tanto en el compostaje como en la lombricultura, es muy importante para monitorear el estado del producto durante el periodo de producción.

En la elaboración del humus a pequeña escala, se pudo observar que, al conocer los valores de los parámetros en el compostaje, se tuvo una clara idea de la fase precisa en la que se encuentra el compost y de esa manera se tomaron medidas de control (sobre todo en la cantidad de agua añadida) para que la calidad del producto no se vea afectada, así mismo, es un indicador de estimación para conocer la finalización del proceso. Para la lombricultura, los valores fueron constantes en todo el periodo del proceso, lo que permite cuidar la vida de las lombrices.

Después de realizar el proceso de producción a pequeña escala para obtener humus de lombriz, se obtuvo un porcentaje de merma del 30 %, el cual es relativamente poco, lo que significa que en mayor porcentaje los residuos llegan a ser descompuestos en su totalidad, logrando obtener una buena cantidad de producto final (humus). Esto, a su vez, permitió proyectar la cantidad de residuos orgánicos necesarios para producir a mayor escala.

Como materia prima para usar en el proceso de producción, se propone añadir residuos de frutas y verduras, esto debido a que, representa casi el 30 % del total de residuos orgánicos.

Como objetivo inicial se propone aumentar la producción a un mínimo del 10%, pero al realizar los cálculos se puede producir hasta un 30%, debido a que se cuenta con la cantidad necesaria de residuos, aunque, dependerá también de la correcta recaudación de residuos orgánicos municipales.

Se utilizará mayor cantidad de materia prima porque se producirá mayor cantidad de producto, por lo que, hace que se requiera mayor extensión de terreno, llegando a la conclusión que, con una distribución adecuada de áreas de trabajo, el terreno disponible donde se encuentra el proceso artesanal cuenta con las dimensiones necesarias para llevar a cabo la propuesta.

Con la finalidad de llevar un mejor control en la producción y la administración de la planta se propone un organigrama, así como un manual de organización y funciones que puede ser desarrollado.

Con la finalidad que, la municipalidad no disponga siempre de un presupuesto para la operación de la planta, se propone vender el producto a 20 soles, valor mucho menor que en el mercado para de esa manera apoyar a los ciudadanos que requieran el producto y a su vez, no depender del presupuesto municipal para este fin.

De acuerdo con el análisis financiero se demostró la factibilidad de la propuesta, tomando en cuenta que los resultados del VAN y el TIR se muestran favorables para la futura realización de la planta semi mecanizada de producción de humus. Realizando el cálculo del payback la inversión se recuperaría en un año y nueve meses.



Referencias bibliográficas

- AgroLanzarote. (s.f.). Manual Práctico para la Lombricultura.*
- Alibaba. (s.f.).* Obtenido de <https://www.amazon.com/-/es/REOTEMP-medidor-humedad-pulgadas-herramienta/dp/B07DM4LS1D?th=1>
- AZ3 OENO. (s.f.). Obtenido de <https://www.az3oeno.com/maquina/tolva-vibrante/>
- Borrero, C. (s.f.). *InfoAgro.com.* Obtenido de https://www.infoagro.com/documentos/abonos_organicos.asp
- Buscalia, M., & Martin, R. (2016). *Estudio y proyecto de compostaje.* Buenos Aires, Argentina. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/296324193.pdf>
- Cachay, C. G. (2018). *Proyecto de instalación de una planta industrial productora de compost en el distrito de Monsefú para el aprovechamiento de residuos orgánicos domiciliarios.* Chiclayo, Perú: Repositorio de Tesis USAT. Obtenido de https://tesis.usat.edu.pe/bitstream/20.500.12423/1949/1/TL_CachayGonzalesCristal.pdf
- Calle Jimenez, J. (febrero de 2020). (D. Bancayan, Entrevistador)
- Departamento de Desarrollo Económico, Sostenibilidad y Medio Ambiente. (s.f.). *EUSKADI.eus* . Obtenido de <https://www.euskadi.eus/informacion/degradacion-del-suelo/web01-a2inglur/es/#85>
- Figuroa. (1993). Obtenido de <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/1924/Sanchez%20Pozo.pdf?sequence=1>
- Gerencia de Servicio a la Comunidad y Gestión Ambiental. (2019). *Caracterización de residuos sólidos municipales del Distrito de Chulucanas.*
- Gerencia de Servicio a la comunidad y Gestión Ambiental, MPMCH. (2019). *Plan Anual de Valorización de Residuos Sólidos Orgánicos Municipales 2019.* Piura, Morropón, Chulucanas.
- Gerencia de Servicio a la comunidad y Gestión Ambiental, MPMCH. (2020). *Plan Anual de Valorización de Residuos Sólidos Municipales del distrito de Chulucanas 2020.* Chulucanas.

- Grandez, P. B. (9 de enero de 2019). *SPDA Actualidad Ambiental*. Obtenido de <https://www.actualidadambiental.pe/opinion-retos-y-oportunidades-del-compostaje-en-el-peru/>
- IncaPower*. (s.f.). Obtenido de <https://www.incapower.com.pe/p/volquetes/forland-fd800/>
- InfoAgro*. (s.f.). Obtenido de https://www.infoagro.com/instrumentos_medida/medidor.asp?id=5311&hi_99121_medidor_directo_del_ph_y_temperatura_del_suelo_sust_rato_o_compost_tienda_on_line
- INIA. (2008). *Producción y uso del Humus de Lombriz*. Lima.
- Junta de Andalucía. (2021). Obtenido de https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/sistemas_y_tecnicas_para_el_compostaje.pdf
- Kontinuer*. (s.f.). Obtenido de <https://www.kontinuer.com/es/equipos/tamiz-vibratorio/>
- Laboquimia*. (2021). Obtenido de <http://www.laboquimia.es/catalogo/producto.php?codigo=208092110>
- Mendoza, J. A. (2012). *Propuesta de compostaje de los residuos vegetales generados en la Universidad de Piura*. Piura, Perú: Pirhua.
- Mendoza, M. (2012). *Propuesta de compostaje de los residuos vegetales generados en la Universidad de Piura*. Piura. Obtenido de <https://hdl.handle.net/11042/1728>
- Meyers, F. E., & Stephens, M. P. (2006). *Diseño de instalaciones y manufactura y manejo de materiales*. México: Pearsoned.
- Ministerio de Salud. (s.f.). *Estadística Poblacional*. Obtenido de <https://public.tableau.com/profile/ogei.minsa.peru#!/vizhome/Poblacionestimada/INICIO>
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2006). *Reglamento Nacional de Edificaciones*. Lima. Obtenido de <https://ww3.vivienda.gob.pe/ejes/vivienda-y-urbanismo/documentos/Reglamento%20Nacional%20de%20Edificaciones.pdf>
- Ministerio del Ambiente. (mayo de 2003). *SINIA*. Obtenido de <https://sinia.minam.gob.pe/normas/ley-organica-municipalidades>
- Ministerio del Ambiente. (28 de febrero de 2017). Obtenido de <http://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-legislativo-n-1278/>
- Municipalidad Provincial de Morropón - Chulucanas. (s.f.). Obtenido de <https://www.munichulucanas.gob.pe/index.php/la-provincia-nuevo/distritos/distrito-chulucanas.html>

- PCE Instruments*. (s.f.). Obtenido de https://www.pce-instruments.com/peru/balanza/balanza/balanza-industrial-pce-instruments-balanza-industrial-pce-rs-2000-det_5896988.htm?_list=qr.art&_listpos=15
- Pineda, J. (diciembre de 2006). *Yumpu*. Obtenido de <https://www.yumpu.com/es/document/view/14390299/lombricultura-programa-para-la-agricultura-sostenible-en-laderas>
- Real Academia Española. (2001). Obtenido de <https://www.rae.es/drae2001/residuo>
- Roben, E. (2002). *Manual de Compostaje Para Municipios*. Loja, Ecuador. Obtenido de <http://www.resol.com.br/Cartilha7/ManualCompostajeparaMunicipios.pdf>
- Rodríguez, J. A. (2006). *Lombricultura*. Honduras.
- Román, P., Martínez, M. M., & Pantoja, A. (2013). *Manual de compostaje del agricultor*. Santiago de Chile, Chile. Obtenido de <http://www.fao.org/3/i3388s/i3388s.pdf>
- Román, P., Martínez, M. M., & Pantoja, A. (2013). *Manual de compostaje del agricultor*. Santiago de Chile, Chile.
- RSU. (s.f.). *Consortio Provincial Residuos Sólidos Urbanos Málaga*. Obtenido de <http://www.consorciorsumalaga.com/5936/residuos-organicos>
- Ruesta, N. C. (2013). *Manual Técnico Lombricultura "Techo a dos aguas"*. Lambayeque, Perú.
- Sánchez, P. V. (2012). *Crianza de lombriz Roja Californiana (Eisenia foetida NC) para la producción de carne usando cuatro tipos de sustratos en la EEAS*. Satipo. Obtenido de <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/1924/Sanchez%20Pozo.pdf?sequence=1>
- Scribd*. (2020). Obtenido de <https://es.scribd.com/document/261680132/Historia-Del-Compost>
- Sistema Nacional de Información Ambiental. (2000). Obtenido de <https://sinia.minam.gob.pe/normas/ley-general-residuos-solidos#:~:text=La%20Ley%2027314%20se%20aplica,sociales%20y%20de%20la%20poblaci%C3%B3n>.
- Sistema Nacional de Información Ambiental. (s.f.). *Ministerio del Ambiente*. Obtenido de <https://sinia.mma.gob.cl/temas-ambientales/residuos/>
- Sodimac. (2021). *Sodimac*. Obtenido de https://www.sodimac.com.pe/sodimac-pe/product/3620115?kid=bnnext132989&gclid=CjwKCAjwlrqHBhByEiwAnLmYUOE2ixkNxPjt8o4Vf7SHpYpjPKjymLNTH5OLCSflpgd3IwPSKOHDrBoCcScQAvD_BwE
- Sub Gerencia de Ornato - MPMCH. (2019 y 2020). *Producción de humus*. Chulucanas, Piura.

Tineo. (1991). Obtenido de [https://www.yumpu.com/es/document/view/14390299/lombricultura-programa-para-la-agricultura-sostenible-en-laderas-](https://www.yumpu.com/es/document/view/14390299/lombricultura-programa-para-la-agricultura-sostenible-en-laderas)

TRAPP. (s.f.). Obtenido de <https://www.trapp.com.br/es/produtos/compostaje/trituradores-de-ramas%2C-troncos-y-residuos-organicos./produto/tr-500t>

Treviño, J. (febrero de 2021). *Etimologías de Chile*. Obtenido de <http://etimologias.dechile.net/?compost>

twenergy. (22 de noviembre de 2019). Obtenido de <https://twenergy.com/ecologia-y-reciclaje/residuos/que-son-residuos-urbanos/>

UNIDECO. (s.f.). Obtenido de <https://www.unideco.com/AGRO/Compostaje/catalogos/COMPOS2.pdf>

Universidad ICESI - EPRODESA ONG. (2017). *Manual de procesos en la planta de compostaje*.



Apéndices



Apéndice A. Flujo económico

Para determinar el precio del saco de humus de 20 soles, se ha realizado el flujo de caja con precios menores a 20 soles. Si, el precio es de 17 soles, se tiene una Tasa Interna de Retorno (TIR) de - 6% y un Valor Actual Neto (VAN) de - 164 880.63, siendo insuficiente para cubrir los gastos.

Por esa razón, se establece un precio aproximado de 20 soles cada saco de humus.

En la siguiente tabla se puede apreciar el flujo económico.

Año	0	1	2	3	4	5
(Inversión)	318,764.53					
(Capital de trabajo)	122,241.00					
Ingresos		562,203.60	573,447.67	573,672.55	573,677.05	573,677.14
(Costos directos)		126,450.00	171,972.00	175,411.44	178,919.67	182,498.06
(Gastos preoperativos)		7,000.00				
(Gastos administrativos)		240,273.00	326,771.28	333,306.71	339,972.84	346,772.30
Utilidad bruta		188,480.60	74,704.39	64,954.41	54,784.54	44,406.78
(Depreciación)		52,075.93	52,075.93	52,075.93	52,075.93	52,075.93
UdD		136,404.67	22,628.46	12,878.48	2,708.61	7,669.15
(Impuestos)		40,239.38	6,675.40	3,799.15	799.04	-2,262.40
UdDdi		96,165.29	15,953.07	9,079.33	1,909.57	5,406.75
Depreciación		52,075.93	52,075.93	52,075.93	52,075.93	52,075.93
Flujo económico	-441,005.53	148,241.22	68,029.00	61,155.26	53,985.50	46,669.18

Anexos



Anexo A. Reporte de toneladas

Reporte de toneladas de residuos sólidos municipales orgánicos valorizados y la cantidad de producto obtenido de junio a noviembre de 2019

N°	Residuo origen	Proceso	Cantidad de residuos (t/mes)						Peso Total
			Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	
1	Mercados	Recolectado	1.46	1.37	1.17				4.00
		Valorizado	1.36	1.25	1.03				3.64
		Producto obtenido							0.00
2	Mantenimiento de Áreas Verdes	Recolectado	0.65	0.45	0.45	1.04	1.51	1.65	5.75
		Valorizado	0.63	0.43	0.44	1.03	1.50	1.64	5.67
		Producto obtenido							0.00
3	Camal Municipal	Recolectado	1.13	0.45	0.50	1.50	0.62	0.77	4.97
		Valorizado	1.09	0.39	0.48	1.49	0.60	0.74	4.79
		Producto obtenido							0.00
PRODUCTO OBTENIDO POR MES			3.08	2.07	1.95	2.01	2.48	1.75	13.34
Peso total recolectado (t)									14.72
Peso total valorizado (t)									14.10
Peso total producto obtenido (t)									13.34

MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE MOROPÓN
CHULUCANAS
Econ. Douglas Elizabetta Velázquez Roman

Gerente Municipal

Fuente: Gerencia de Servicio a la comunidad y Gestión Ambiental (2019)