

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES



**“OPTIMIZACIÓN DE PLANTA DE VALORIZACIÓN DE RESIDUOS
ORGÁNICOS EN PUEBLO LIBRE, LIMA”**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PARA OPTAR EL TÍTULO DE:
INGENIERO FORESTAL**

**PRESENTADO POR:
BLADIMIR DENIS QUIROZ VALENCIA**

**LIMA - PERÚ
2021**

**La UNALM es titular de los derechos patrimoniales de la presente investigación
(Art. 24 – Reglamento de Propiedad intelectual)**

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

**OPTIMIZACIÓN DE PLANTA DE VALORIZACIÓN DE RESIDUOS
ORGÁNICOS EN PUEBLO LIBRE, LIMA**

Presentado por:
Bladimir Denis Quiroz Valencia

Trabajo monográfico para optar el Título de:
INGENIERO FORESTAL

Sustentado y aprobado por el siguiente jurado:

Ing. Gilberto Dominguez Torrejón, Ph.D.
Presidente

Ing. Rosa María Hermoza Espezúa
Miembro

Ing. Aldo Joao Cárdenas Oscanoa, Mg.Sc
Miembro

Ing. Mary Flor Césare Coral, Mg.Quím.
Asesora

DEDICATORIA

“A ti, Dios de mis padres, te doy gracias y te alabo, porque me has dado fuerza y sabiduría,...”
(Daniel 2:23)

A mis padres: Viviana y César, por su apoyo incondicional. A mis tíos por su apoyo económico y mi hermano mayor Engelbert por su ejemplo y paciencia.

AGRADECIMIENTOS

La realización de este trabajo monográfico fue posible gracias al apoyo de diferentes personas a las cuales me gustaría expresar mi gratitud.

Me gustaría agradecer especialmente a Lizeth Bustamante, especialista Ambiental de Pueblo libre 2019-2021; la cual ayudó en el Planeamiento de la primera planta de Compostaje del distrito de Pueblo Libre, junto con el apoyo de mis colegas Paul Ordoñez y Jhoel Almendras.

Además, se hace un reconocimiento especial del administrador Andy Oliva y la contadora Greisi Soplapuco por el apoyo en el presente trabajo monográfico.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	
ABSTRACT	
PRESENTACIÓN	
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO I.....	3
1.1 Descripción de la empresa.....	3
1.1.1 Ubicación.....	3
1.1.2 Actividad.....	4
1.1.3 Mision y visión.....	4
1.1.4. Organización.....	5
1.2 Descripción general de la experiencia.....	6
1.2.1 Actividad profesional desempeñada.....	6
1.2.2 Nombre del proyecto.....	6
1.2.3Resultados del proyecto.....	7
CAPÍTULO II.....	8
2.1 Residuos sólidos orgánicos.....	8
2.1.1 Residuos sólidos.....	8
2.1.2 Residuos orgánicos.....	8
2.1.3 Materia orgánica.....	8
2.1.4 Abono.....	8
2.1.5. Abono orgánico.....	9
2.1.6. Estiércol de cuy.....	9
2.1.7. Definición de compost.....	9
2.2 Valorización y manejo integral de residuos orgánicos.....	9
2.3 Referencias del proyecto.....	10
2.3.1 Ubicación del proyecto.....	10
2.3.2 Tratamiento.....	10
2.3.3 Fuentes de generación de residuos sólidos orgánicos.....	13
2.3.4 Recoleccion selectiva de residuos sólidos orgánicos.....	13
2.3.5 Funcionamiento.....	14

2.3.6. Descripción de instalación	15
2.3.7 Monitoreo durante el compost.	17
2.3.8 Almacenamiento de compost.....	23
2.3.9 Distribución.	24
2.3.10 Cronograma.	25
2.3.11 Presupuesto.....	26
2.4 Mejora de procesos de la planta de compostaje.....	27
2.4.1 Brainstorming.	27
2.4.2. Encuestas	28
2.5 Metodología para optimización de planta de compostaje.....	29
2.5.1 Descripción del proceso convencional.	30
2.5.2 Contribución.	31
2.5.3. Elección de la maquinaria a usar	31
CAPÍTULO III	33
3.1. Parámetros de monitoreo durante el compostaje.	33
3.2. Comparación de costos por los dos métodos de volteo	34
3.3 Discusión de resultados	38
CONCLUSIONES	39
RECOMENDACIONES	40
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41
ANEXOS	43

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Coordenadas de ubicación de Planta de Valorización de residuos orgánicos	10
Tabla 2: Fuentes de generación de residuos sólidos orgánicos	13
Tabla 3: Horario de la recolección selectiva de residuos orgánicos.....	14
Tabla 4: Parámetros de monitoreo.....	17
Tabla 5: Cronograma de intervención	25
Tabla 6: Resultados mensuales promedios de los parámetros evaluados.....	33
Tabla 7: Costo de manufactura de compost con la adición de mano de obra.....	36
Tabla 8: Costo de manufactura de compost con el uso de minicargador Bobcat.....	37

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Organigrama estructural de la Municipalidad de Pueblo Libre	5
Figura 2. Sistema en pilas.....	11
Figura 3. Diagrama de flujo operacional de compostaje	11
Figura 4. Motofurgón para recolección selectiva	14
Figura 5. Composición de la pila.....	15
Figura 6. Medición de Temperatura	18
Figura 7. Herramienta zapa para volteo.....	19
Figura 8. Volteo con minicargador frontal de la pila de compostaje	20
Figura 9. Aireación pasiva con cañerías perforadas	20
Figura 10. Evaluación de humedad de la pila por el método del puño.....	22
Figura 11. Medición de pH con papel tornasol	23
Figura 12. Pesado y Almacenado de Compost.....	23
Figura 13. Uso en el mantenimiento de parques y jardines.....	24
Figura 14. Incentivos para los administrados participantes.....	24
Figura 15. Marco presupuestal del año 2019.....	26
Figura 16. Encuesta cuantitativa procesos de mayor dificultad	29
Figura 17. Contenedores grandes con colores diferenciados para recolectar residuos.....	30
Figura 18. Maquina alquilada para el proceso de volteo	32
Figura 19. Evolución de la producción de compost en las pilas de compostaje.....	34
Figura 20. Volteo manual de la pila de compostaje	34
Figura 21. Volteo con minicargador de la pila de compostaje	35

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Plano de ubicación de la Planta de Compostaje	43
Anexo 2: Plano de distribución de la planta de valorización de residuos orgánicos.....	44
Anexo 3: Plano de ubicación de centro de acopio para maleza en parque San Martín	45
Anexo 4: Plano de ubicación de mercados participantes en valorización de residuos.....	46
Anexo 5: Plano de ubicación de viviendas participantes en la valorización de residuos	47
Anexo 6: Sector elegido para implementación de piloto de recolección de residuos	47

RESUMEN

En los últimos años, se ha observado el incremento de la generación de residuos orgánicos en el distrito de Pueblo Libre. Estos residuos se caracterizan por ser altamente ricos en nutrientes, que pueden ser aprovechados y de esta manera cumplir con la última modificatoria de la Ley de Gestión Integral de Residuos sólidos (D.L. 1501), la cual indica que antes de realizar la disposición final del residuo, este debe ser tratado para su valorización, siendo el compostaje uno de los tratamientos que indica la Ley, y de esa manera mitigar la emisión de gases de efecto invernadero y por ende ampliar la vida útil del relleno sanitario.

En el año 2019 la Subgerencia de Gestión Ambiental de la Municipalidad de Pueblo Libre, vio conveniente crear la planta de valorización de los residuos sólidos orgánicos del distrito de Pueblo Libre, mediante el compostaje de estos residuos orgánicos municipales dando cumplimiento a la Ley 1501. Por ello este trabajo de suficiencia profesional tuvo como objetivo general evaluar factores críticos en el proceso de transformación de residuos sólidos orgánicos a compost y lograr la Optimización de los procesos así como la disminución del tiempo de la producción del compost en la planta de valorización de residuos del distrito.

Los resultados obtenidos demostraron la mejora del proceso, lo cual ha permitido optimizar la Planta de valorización de residuos orgánicos con herramientas inmediatas y medibles logrando en un contexto general una buena alternativa para la reducción de emisiones ya que, si bien estos residuos eran transportados por compactas y camiones hacia los rellenos sanitarios, ahora algunos de estos serán convertidos en un producto provechoso para el mismo distrito. Se logró almacenar un total de 28,25 toneladas de residuos orgánicos lo cual significó el inicio de las posteriores Proyectos de valorización. Y por último, se logró una producción de compost en un total de 15,33 toneladas los cuales fueron enteramente empleados para en el uso del distrito, tanto en parques, bermas centrales, bermas laterales y jardines alrededor de toda la jurisdicción.

Palabras claves: *Compost, residuos orgánicos, contaminación del suelo, reducción de emisiones.*

ABSTRACT

In the last few years has been an increase generation of organic waste in the Pueblo Libre district. This waste is characterized by being highly rich nutrient that may be exploited and thereby comply with the last amendment of the Law on Solid Waste Integral Management (L.D.1501). It indicates before making the final waste provision it should be treated for recovery being one of the composting treatments indicated by law. In that way it mitigates the greenhouse gas emissions and so to extend the useful life of the sanitary landfill.

In 2019, the Sub Management of Environmental Management of the Municipality of Pueblo Libre considered convenient to create the organic solid waste recovery plant in the district to compost the municipal organic waste and comply with law 1501. This research had the objective of evaluating the critical factors in the transformation of organic solid waste to compost and achieve process optimisation. In addition to reduce the time of compost production in the waste recovery plant of the district.

The results obtained show process improvement has optimized the organic waste recovery plant with immediate and measurable results. In general this has produced a good alternative for emission reductions that were usually transported by compacts and trucks towards the sanitary landfill. Some of them will be converted and used in the district. A total of 28,25 tones of solid organic waste was achieved from the beginning of the following recovery projects. Finally, a total of 15,33 compost tones were produced and fully used for the district in parks as well as central berms, lateral berms and gardens around the whole jurisdiction.

Keywords: *Compost, organic waste, soil contamination, emission reduction*

PRESENTACIÓN

Desde el año 2019 hasta la actualidad, se ha venido contribuyendo profesionalmente en la Municipalidad de Pueblo Libre en el área de la Subgerencia de Gestión Ambiental con el cargo de Técnico viverista, supervisando el vivero el cual, posteriormente en el año 2019 contaría con la implementación de la primera Planta de valorización de residuos orgánicos (Planta de compostaje) la cual se desarrolló entre junio y diciembre del mismo año.

El presente trabajo monográfico deja en evidencia la creación de capacidades logradas, así como la puesta en práctica de los conceptos adquiridos en la Facultad de Ciencias Forestales, específicamente los conocimientos teóricos que fueron parte del curso de Producción Agropecuaria, donde se enseñó el proceso de elaboración del compost, el cual se reforzó con la visita a la Planta de compostaje ubicada en el programa de Maíz de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Además, cabe mencionar que en las actividades realizadas se usaron conceptos de Administración y Planeamiento estratégico como fundamentos para la mejora de procesos.

Previos a la experiencia anteriormente mencionada, se trabajó en el mantenimiento y producción de especies anuales y perennes de valor ornamental, labor desempeñada siendo pasante en la empresa Atlantic Nurseries Inc. ubicada en Long Island (Nueva York), bajo la tutela de la Ohio State University, en dicha empresa no sólo se producía y vendían plantas ornamentales, sino también se ofrecía el servicio de Paisajismo; la hojarasca y materia orgánica residual se vertía en grandes zonas de almacenaje, los cuales bajo procesos controlados servían para obtener productos compostados y húmicos, esto además enriqueció mis conocimientos logrados en la formación universitaria, y crean la base para los conocimientos a futuro, para la implementación de la Planta de compostaje en la Corporación edil del distrito de Pueblo Libre.

Con las diferentes capacidades profesionales y habilidades técnicas logradas, se ha permitido aportar positivamente a la institución, que va desde la planificación estratégica, lo cual ha permitido analizar y tomar decisiones de manera crítica, identificando los mejores insumos para

lograr la obtención del mejor producto final, y la optimización de los procesos. Lo cual va a permitir dar cumplimiento a la actividad N° 2 de la Meta 3 del Programa de Incentivos del MINAM en virtud del Artículo N.º 195 de la Constitución Política del Perú, además de lograr la reducción de emisión de gases de efecto invernadero, de forma indirecta ya que, al introducir los residuos como un componente favorable al suelo, permite fijar el carbono a este y de esta manera disminuir la huella de carbono de la municipalidad, lo cual necesita tanto nuestro planeta en estos tiempos tan apremiantes.

Finalmente concluyo que a nivel personal las capacidades profesionales adquiridas van desde la gestión de conflictos, la construcción correcta de la cultura de la organización, la productividad personal y la capacidad de la gestión de cambio.

INTRODUCCIÓN

Los residuos sólidos municipales son muy perjudiciales para el medio ambiente, ya que causan un aumento en las emisiones de CO₂ y su impacto en el cambio climático. A nivel nacional los residuos sólidos orgánicos que se generan representan más del 50 %, convirtiéndose en un problema ambiental que a su vez puede ser valorizado aplicando distintas tecnologías (Ministerio del ambiente [MINAM], 2015). La alternativa más práctica de valorización es el compostaje, proceso biológico aeróbico, mediante el cual los microorganismos actúan sobre la materia rápidamente biodegradable. El producto obtenido es el compost, el cual puede ser usado para mejorar la calidad del suelo de los parques del distrito y demás áreas verdes del mismo, permitiendo la reducción de compactación, erosión y retención del agua. La valorización de los residuos permite reducir la cantidad de sólidos orgánicos que irían al relleno sanitario y disminuye los impactos ambientales que se generan en la recolección, transporte y disposición final.

La Municipalidad de Pueblo Libre, tiene por función la aprobación de herramientas de gestión ambiental local, en concordancia con el sistema de gestión ambiental regional y nacional, bajo este parámetro, se aprobó el Plan Anual de Valorización de Residuos Sólidos Orgánicos Municipales del distrito de Pueblo Libre, con la finalidad de minimizar y reducir los residuos sólidos orgánicos generados de los mercados y viviendas, además de la maleza producto del mantenimiento de las áreas verdes, apoyar las iniciativas ambientales locales, y promover la gestión integral de los residuos, además de fortalecer la gestión ambiental en el distrito.

La implementación de la valorización de residuos sólidos orgánicos municipales cumple con la Actividad N° 02 de la Meta 3 “IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA INTEGRADO DE MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES”, del Programa de Incentivos a la Mejora de la Gestión Municipal (PI) del año 2019, pues dicha actividad tiene por objetivo la implementación progresiva de la valorización de residuos sólidos orgánicos municipales, con el fin de contribuir a mejorar la continuidad en el manejo y gestión integral de residuos sólidos orgánicos y la calidad ambiental del distrito.

Para abordar este problema social y ambiental, como consecuencia de la regular disposición de residuos, existen diferentes iniciativas de mitigación, tal como la valorización de residuos. En ese sentido, el presente documento tiene como objetivo principal, la optimización de planta de valorización de residuos orgánicos existente del distrito de Pueblo libre, el documento se apoya en los siguientes objetivos específicos: (i) identificar los procesos con mayor dificultad en la planta de valorización de residuos; (ii) reducir tiempos de uno de los procesos de mayor dificultad.

CAPITULO I

1.1 Descripción de la empresa

La Municipalidad de Pueblo Libre es una Corporación edil. En tiempos de la Constitución liberal de 1856, una ley del 2 de enero de 1859 da existencia legal al distrito como Magdalena Vieja, siendo su primer alcalde don Pedro del Solar el año de 1873 (Municipalidad de Pueblo Libre, 2019).

1.1.1 Ubicación.

El distrito de Pueblo Libre se encuentra ubicado en el área central de Lima Metropolitana a una altitud de 96 msnm, entre las coordenadas geográficas:

- Latitud Sur: 12° 04' 18" y
- Longitud Oeste: 77° 03' 30"

Limitado por los siguientes distritos:

- Norte: Cercado de Lima y el distrito de Breña.
- Sur: Distritos de Magdalena y San Miguel
- Este: Distrito de Jesús María
- Oeste: Distrito de San Miguel

El territorio distrital comprende 462,34 ha.; totalmente consolidadas y de uso predominantemente residencial, donde se desarrollan también actividades comerciales y de servicios a escala distrital con tendencias a mantener su carácter residencial y turístico-cultural. El carácter residencial se ve reflejado por mantener una densidad poblacional estable desde 1993 hasta 2007 entre 240 a 246 hab./ha. En relación a Lima metropolitana se encuentra entre los distritos de mediana densidad (entre 200 a 250 hab./ha).¹

¹ Por ejemplo, el distrito de El Agustino tiene una densidad de 540 Hab/Ha, mientras que Pachacamac de 110 Hab/ha y El Callao de 218 Hab/ha (IMP, 2020).

El carácter Turístico-Cultural se debe a la conservación de un patrimonio histórico monumental, constituido por museos, iglesias, sitios arqueológicos, calles tradicionales e inmuebles de una arquitectura de estilos republicano, neocolonial y otros. Población: 74,164 habitantes (2007) Área total: 462,34 ha. 100% urbano Densidad: 160 hab. / ha. (IMP, 2020)

1.1.2 Actividad.

La Municipalidad de Pueblo Libre, según Barndt y Carvey (1982), se clasifica como una empresa (según sus operaciones) de tipo servicios y bienestar, ya que realiza diferentes actividades con la finalidad de atender las demandas de la comunidad local y asegurar su progreso económico, social y cultural. Además, las operaciones de la Subgerencia de Gestión Ambiental se encuentran dentro del campo proyecto, debido a que ofrece un servicio único que varía según el Plan Estratégico de cada autoridad, durante un determinado tiempo.

La Municipalidad de Pueblo Libre es una Corporación que se encarga de la Gestión del distrito de Pueblo Libre teniendo como máximo representante al alcalde Stephen Haas del Carpio, el cual es licenciado de Derecho y Ciencias Políticas. (Municipalidad de Pueblo Libre, 2019).

1.1.3 Mision y visión.

1.1.3.1 Misión.

Brindar al vecino servicios públicos efectivos y de calidad, que garanticen su desarrollo social, seguridad ciudadana, participación democrática en la gestión y el desarrollo económico, en base a nuestro Plan de Desarrollo Estratégico, principios, valores y prácticas de buen gobierno corporativo. (Municipalidad de Pueblo Libre, 2019).

1.1.3.2 Visión.

Pueblo Libre es un distrito ordenado, ecológico, seguro y turístico que cuida su valor residencial y su zona monumental; con servicios y equipamiento -cultural y deportivo- de calidad. Su gente educada y con valores, está comprometida y participa en mejorar su calidad de vida. Cuenta con instituciones integradas en acciones comunes; con el liderazgo de su gobierno local. (Municipalidad de Pueblo Libre, 2019).

1.1.4. Organización.

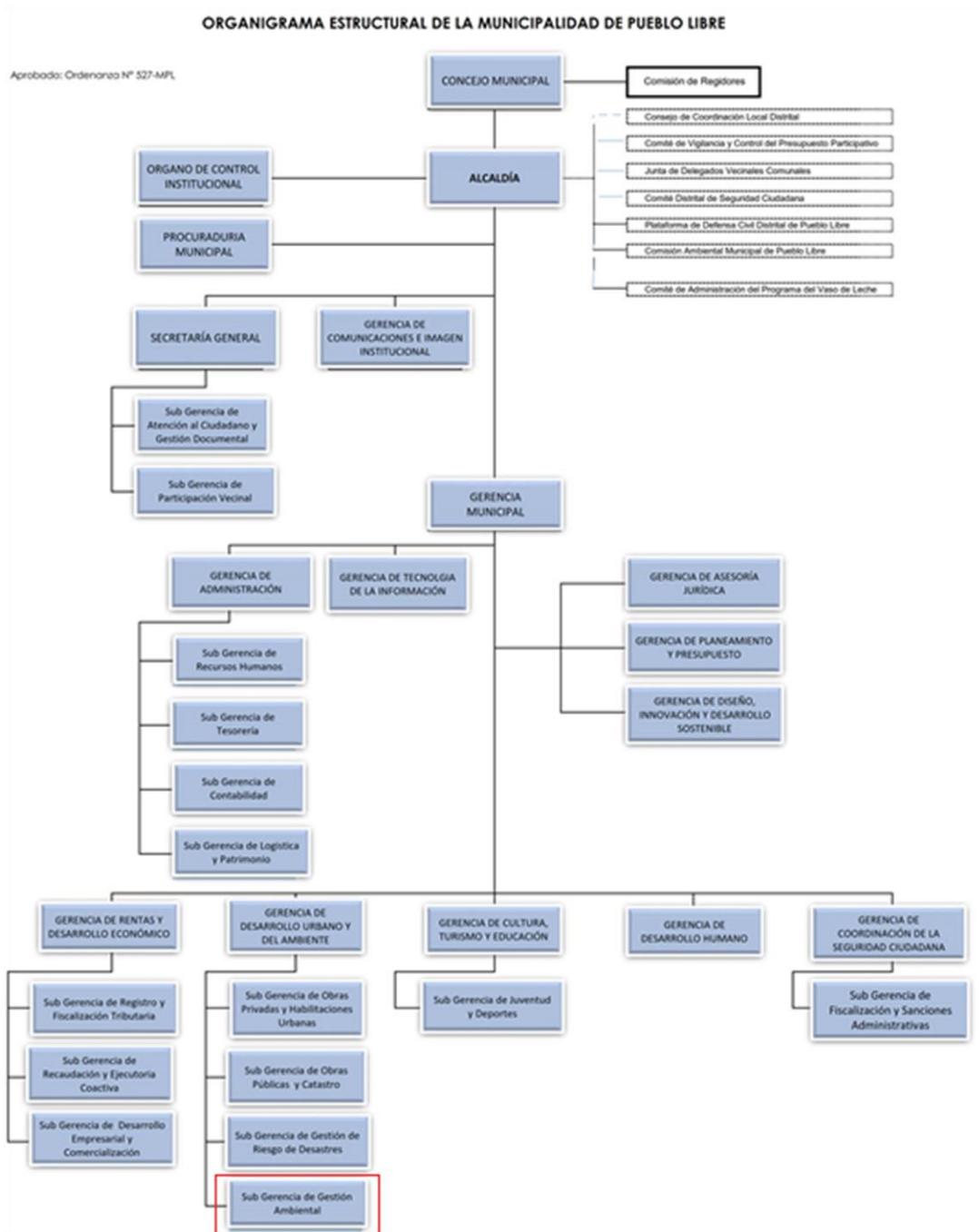


Figura 1. Organigrama estructural de la Municipalidad de Pueblo Libre

Fuente: Ordenanza N° 527-MPL, 2019.

1.2 Descripción general de la experiencia

Las actividades descritas en el presente trabajo están dentro del ejercicio de la profesión, enfocadas en la gestión pública, las cuales se han desarrollado en la Corporación edil de Pueblo Libre desde el periodo de junio 2019 hasta la actualidad. Durante estos años, el cargo asumido fue de Técnico viverista desempeñando las siguientes funciones: (1) Supervisor de la Planta de compostaje, contando con 2 operarios y un chofer a mi cargo, (2) Coordinador de vivero, (3) Encargado de manejo de arbolado urbano, (4) Especialista Forestal y (5) Colaborador de programa EDUCCA.

1.2.1 Actividad profesional desempeñada.

A lo largo de la actividad profesional desempeñada, se dirigió proyectos de impacto social y ambiental a nivel local. Desde 2019, asumiendo como Técnico viverista de la Subgerencia de Gestión Ambiental, se supervisa la puesta en marcha de la actividad N° 2 de la Meta 3 del Programa de Incentivos del MINAM en virtud del Artículo N.º 195 de la Constitución Política del Perú, que dice: “Los gobiernos locales promueven el desarrollo y la economía local, y la prestación de los servicios públicos de su responsabilidad, en armonía con las políticas y planes nacionales y regionales de desarrollo”.

Además, los diversos cargos asumidos a lo largo de esta experiencia, permitieron cumplir funciones de planificación y gestión de los distintos proyectos que cuenta la Municipalidad de Pueblo Libre.

1.2.2 Nombre del proyecto.

Este trabajo monográfico se basó en dos documentos:

1. Plan anual de valorización de residuos orgánicos municipales del distrito de Pueblo libre 2019.
2. Informe de implementación de valorización de residuos sólidos orgánicos del distrito de pueblo libre 2019.

1.2.3 Resultados del proyecto.

Los residuos sólidos orgánicos municipales valorizados y recolectados desde julio a noviembre de 2019 fueron de 28,25 toneladas, la cantidad de producto obtenido de la valorización de los residuos sólidos orgánicos fue de 6,76 toneladas para el mes de noviembre, y la producción total de compost fue de 15,33 toneladas en el segundo semestre del año 2019.

La participación de comerciantes y administrados de las viviendas favoreció la segregación efectiva de los residuos orgánicos recolectados. Esta medida de mitigación de emisión de residuos orgánicos ayudó a reducir que los residuos sólidos orgánicos se asimilen como desechos al medio ambiente.

CAPÍTULO II

2.1 Residuos sólidos orgánicos

2.1.1 Residuos sólidos.

Residuos sólidos es cualquier objeto, material, sustancia o elemento resultante del consumo o uso de un bien o servicio, de cual su poseedor se desprenda o tenga la intención u obligación de desprenderse para ser manejados priorizando la valorización de los residuos y, en último caso, su disposición final (Ministerio de Economía y Finanzas [MEF], 2019).

2.1.2 Residuos orgánicos.

Son restos de origen biológico ya sea de origen vegetal o animal, el cual se descompone de forma natural, generando gases (dióxido de carbono, metano, entre otros.) lixiviados en los lugares donde se tratan y donde se disponen finalmente. Por medio de un proceso apropiado se puede aprovechar para mejorar el suelo y hacer fertilizantes como compost, humus, abono, entre otros”. (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental [OEFA], 2014, p14)

2.1.3 Materia orgánica.

Está constituido por los materiales con facilidad en degradación como los residuos vegetales, frutas, maleza seca, estiércol (León, 2000, p.15).

2.1.4 Abono.

El abono o fertilizante es un material cuya función principal es proporcionar elementos nutrientes a las plantas; sus nutrientes principales son exclusivamente los elementos nitrógeno, fósforo y potasio (Parlamento Europeo, 2003).

2.1.5 Abono orgánico.

Es un producto cuya función principal es aportar nutrientes para las plantas, los cuales proceden de materiales carbonados de origen animal o vegetal. (Gobierno Español - Real Decreto, 2013)

2.1.6 Estiércol de cuy.

Es la principal fuente de abono orgánico y su apropiado manejo es una excelente alternativa para ofrecer nutrientes a las plantas y a la vez mejorar las características físicas y químicas del suelo. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación (FAO) indicó que de todos los forrajes que consumen los animales (ovinos, vacunos, camélidos y cuyes), sólo una quinta parte es utilizada en su mantenimiento o incremento de peso y producción, el resto es eliminado en el estiércol y la orina (Guía de Campo, FAO, 2014, p.198).

2.1.7 Definición de compost.

El compost es el resultado de la combinación de desechos orgánicos ricos en nutrientes para el suelo y las plantas, este producto puede aplicarse al suelo para mejorar sus características y las del cultivo, sin ocasionar daños al medio ambiente Luque (2010). El compost actúa aportando nutrientes directamente asimilables por la planta y mejorando las condiciones del suelo, aportando humus y materia orgánica que será mineralizada (Ocampo, Robles y Wu, 2002).

2.2 Valorización y manejo integral de residuos orgánicos

2.2.1 Valorización.

Cualquier operación cuyo objetivo sea que el residuo, uno o varios de los materiales que lo componen, sea reaprovechado y sirva para la finalidad útil al sustituir a otros materiales o recursos en los procesos productivos. La valorización puede ser material o energética. (MEF, 2019).

2.2.2 Residuos sólidos de ámbito municipal.

Son aquellos residuos sólidos que se generan en los domicilios, establecimientos comerciales, industrias, y limpieza pública y otros que no presentan características de residuos sólidos

peligrosos. (MINAM, 2015)

2.2.3 Manejo integral de los residuos sólidos.

Es un conjunto de acciones normativas, financieras y de planeamiento que se aplica a todas las etapas del manejo de residuos sólidos desde su generación, basándose en criterios sanitarios ambientales y de viabilidad técnica y económica para la reducción en la fuente, el aprovechamiento, tratamiento y la disposición final de los residuos sólidos. (MINAM, 2015)

2.3 Referencias del proyecto

2.3.1 Ubicación del proyecto.

La Municipalidad de Pueblo Libre transportará los residuos orgánicos recolectados del Programa de Segregación en la Fuente hacia la Planta de Valorización de residuos orgánicos, ubicado en la Av. Paso de los Andes cuadra N.º 3

La planta de valorización cuenta con un área de 192 m², el cual se ubica en Av. Paso de Los Andes N° 514 dentro del cuartel militar Manuel Bonilla.

Tabla 1: Coordenadas de ubicación de Planta de Valorización de residuos orgánicos

PUNTO	COORDENADAS	
	X (ESTE)	Y (NORTE)
A	275917.56	8664194.51
B	275918.96	8664205.53
C	275906.12	8664207.60
D	275905.78	8664195.90

Fuente: Subgerencia de Gestión Ambiental, 2019.

2.3.2 Tratamiento.

El tratamiento fue por el método de compostaje en pilas, por ser el sistema más sencillo, para lo cual se afirmará el suelo, donde se irán depositando, por capas, los diferentes tipos de residuos sólidos orgánicos recolectados de las viviendas, mercados participantes y áreas verdes, formando una pila y el método de aireación será el móvil.

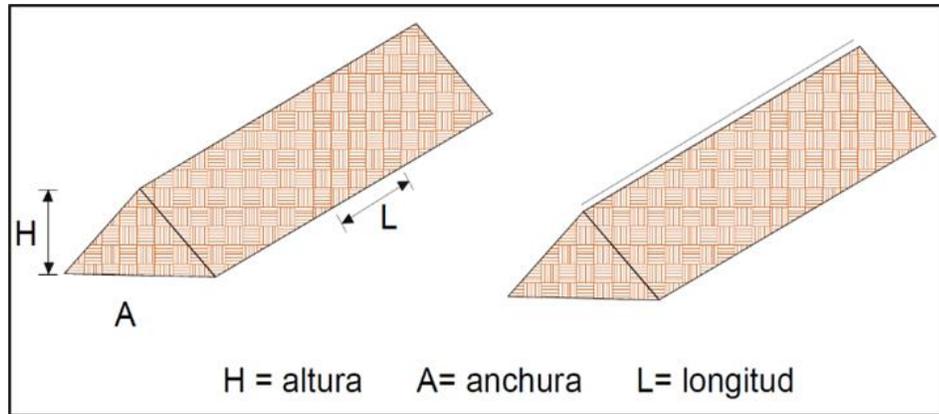


Figura 2. Sistema en pilas

Fuente: Subgerencia de Gestión Ambiental, 2019.

El tratamiento del compostaje se desarrolla de como se muestras en la Figura 3.

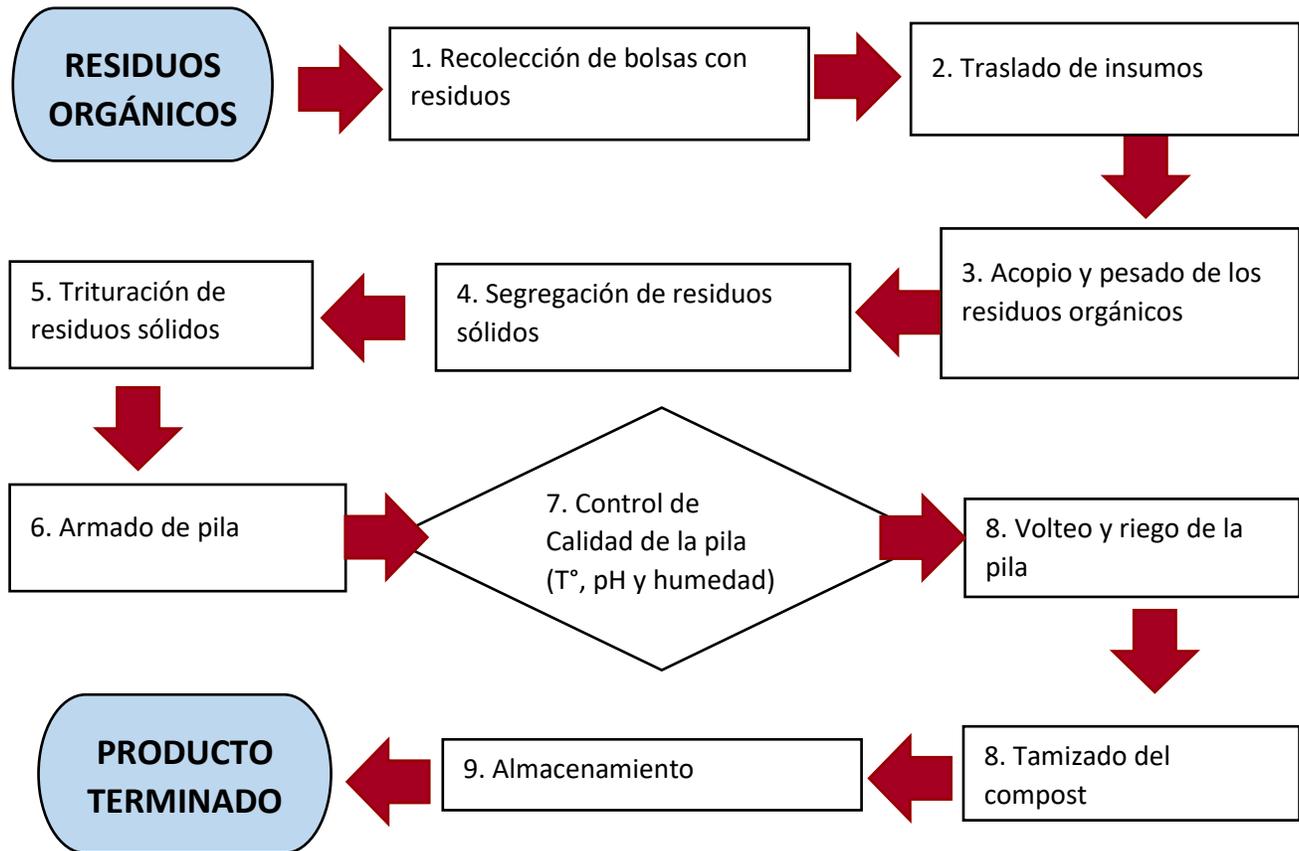


Figura 3. Diagrama de flujo operacional de compostaje

Fuente: Elaboración propia.

Del presente diagrama de flujo del tratamiento de los residuos orgánicos se observa los siguientes procesos para la obtención del compost:

1. Recolección de bolsas con residuos: Consiste en la recolección de los residuos acopiados del mercado y viviendas.
2. Traslado de insumos: Consiste en el transporte de las bolsas con residuos desde los mercados, viviendas o punto de acopia hacia la planta de compostaje , ubicada en Av. Paso de los Andes cuadra 3.
3. Acopio y pesado de residuos: Consiste en el pesado de los residuos orgánicos que ingresan al área donde se realizará su tratamiento.
4. Segregación: Seleccionar y diferenciar los residuos orgánicos de los inorgánicos y los desechos.
5. Trituración de los residuos orgánicos: Triturado de los residuos con machete en pequeñas partículas, para que su degradación sea más rápida.
6. Armado de pila de compost: Consiste en la colocación de los residuos en las camas preparadas para su descomposición, haciendo el apilamiento respectivo, agregando los tres insumos utilizados.
7. Control de calidad de la pila: Control de parámetros de temperatura, humedad y potencial de Hidrógeno (pH).
8. Volteo y riego de la pila: Consiste en regar cuando se necesite más humedad en la pila y realizar cada 15 días el volteo de los residuos después de haber sido formada ésta, para evitar que la pudrición de las pilas de compostaje.
9. Tamizado de compost: Consiste en la eliminación de restos de gran tamaño y presencia de impurezas.
10. Almacenamiento del compost: Última etapa de la operación del tratamiento de los residuos sólidos orgánicos se empaquetará en costales.
11. Producto terminado (Compost maduro): Compost una vez realizado su correcta degradación.

2.3.3 Fuentes de generación de residuos sólidos orgánicos.

En el distrito de Pueblo Libre, se identifican diversas fuentes de generación de residuos sólidos orgánicos, ver Tabla2.

Tabla 2: Fuentes de generación de residuos sólidos orgánicos

FUENTES	DESCRIPCIÓN
Fuente 1	Domicilios o Viviendas
Fuente 2	Bodega, Panadería, Minimarket y similares
Fuente 3	Librería, Bazar, Agencias y similares
Fuente 4	Servicio de fotocopias e impresiones, locutorio, venta de tecnologías
Fuente 5	Farmacia-consultorios
Fuente 6	Restaurantes, Cafeterías, Bar, Saunas y SPA-Tragamonedas, casinos
Fuente 7	Otros comercios
Fuente 8	Mercados o Centros de abasto
Fuente 9	Mantenimiento de Áreas verdes

Fuente:Elaboración propia, 2021.

2.3.4. Recoleccion selectiva de residuos sólidos orgánicos.

El Programa de valorización de residuos sólidos orgánicos del distrito de Pueblo Libre realizará la recolección de los residuos orgánicos generados de tres (3) tipos de generadores²:

- Viviendas del sector 6 del distrito (Ver ANEXO E)
- Establecimientos comerciales del mercado Municipal y María Parado de Bellido
- Punto de acopio de maleza

Se recogió de lunes a viernes según como indica la Tabla 3; mediante un Motofurgón de capacidad de 3,29 m³ en volumen, contando con personal capacitado para la actividad: un (1) supervisor, un (1) chofer y dos (2) operarios.

² Para la colecta de residuos orgánicos de la Planta, se priorizó tres tipos de fuentes generadoras:

- ✓ Fuente 1 (Viviendas)
- ✓ Fuente 8 (Mercados)
- ✓ Fuente 9 (Mantenimiento de Áreas verdes)



Figura 4. Motofurgón para recolección selectiva

Fuente: Subgerencia de Gestión ambiental, 2019.

La recolección de los residuos orgánicos se realizó en los horarios que se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3: Horario de la recolección selectiva de residuos orgánicos

DIA	HORARIO DE RECOLECCIÓN	
	HORA	RUTA DE RECOLECCIÓN
LUNES A VIERNES	11:00 am y 4:00 pm	Mercado Municipal y Mercado Bellido
LUNES A VIERNES	08:00 am a 1:00 pm	Punto de acopio de maleza
VIERNES	10:00 am a 12:00 pm	Viviendas del Sector 6

Fuente: Elaboración propia

2.3.5. Funcionamiento.

El área piloto de compostaje acopia un aproximado de 3,6 toneladas de residuos orgánicos cada mes. Siguiendo el proceso ya establecido se procederá con el pesado del material orgánico del mercado, vivienda y la maleza generada del distrito, luego se hará la segregación y trituración de los residuos orgánicos en la zona de compostaje, después de eso se procederá a hacer el apilamiento cada 0,20 m según indica la pirámide de la Figura 05, la pila de degradación cuenta con un ventilación por tubos para asegurar la adecuada aireación de la pila, la calidad del proceso del pH, la temperatura y la humedad relativa serán medidos por un equipo multiparámetro.

Posteriormente el material resultante de la degradación se tamizó y volteó cada 15 día hasta obtener una mezcla uniforme.



Figura 5. Composición de la pila

Fuente: Elaboración propia, 2021.

2.3.6 Descripción de instalación

La distribución en la Planta de valorización de residuos de orgánicos, se diseña en base a la cantidad diaria (180 kg/día) que va a recibir de residuos orgánicos recolectados de los diferentes puntos de generación dentro del distrito para la elaboración del compost, el cual servirá como incentivo a las viviendas y para el mantenimiento de áreas verdes, generando un desarrollo sostenible dentro del distrito.

1. **Zona de Compostaje:** Es un área acondicionada con una pendiente de 3 % para la decantación de lixiviados, provenientes de las 3 pilas a suelo afirmado a contar para la elaboración del compost, cada pila tiene sus dimensiones de 2 metros de ancho por 10 de largo de cada pila.
2. **Entrada y Salida:** Contó con un portón metálico de ingreso y salida a la planta de valorización; con las siguientes dimensiones: 4,44 m de largo y 2,2 m. de alto.
3. **Patio de Maniobras:** Contó con un área de 33,58 m², brindando un radio de giro amplio para el vehículo motorizado (moto furgoneta) encargado del ingreso diario del

residuo orgánico municipal, así como el traslado fuera de la planta del compost ya elaborado.

4. **Área Administrativa:** El área responsable debe llevar a cabo un registro documentario de las actividades diarias que se realizan en el proceso de elaboración del compost; desde el ingreso de los residuos orgánicos municipales hasta la elaboración del compost y su salida de la planta de valorización.
5. **Almacén de Insumos:** Área donde brindará las condiciones necesarias para la buena conservación de los insumos utilizados en el proceso de elaboración de compost.
6. **Zona de Pesaje:** Lugar donde se contó con una balanza que permitirá el pesaje de los residuos orgánicos que entran a la planta, como la estandarización del embolsado del compost elaborado.
7. **Servicios Higiénicos:** Al contar con un personal permanente dentro de la planta, se dispone de un área de servicios higiénicos de 32 m², para su comodidad y evitando su traslado fuera de la planta.
8. **Ducha y vestuario:** Es un área acondicionada con una ducha para la conservación de la higiene personal, del personal y un área de vestuario para su cambio de ropa.
9. **Área de descarga de los residuos orgánicos municipales:** Lugar diseñado para la descarga de los residuos orgánicos, con rapidez y fluidez, sin interrumpir el correcto funcionamiento de la planta de valorización.
10. **Área de carga del Compost:** El área destinada para el traslado del compost, debidamente embolsado fuera de la planta de valorización para su uso en el mantenimiento, mejoramiento de las áreas verdes del distrito, entre otros.
11. **Área de curado y embolsado:** Espacio donde se dispuso el compost ya elaborado, por un tiempo de un mes; para su posterior embolsado en costales de 25 o 50 kg.
12. **Área libre:** Es una zona de libre disposición dentro de la planta valorización, cuya función es brindar un soporte temporal ante una necesidad o requerimiento de espacio extra.

El Plano de distribución de la Planta de valorización se detalla más adelante (Ver Anexo B).

2.3.7 Monitoreo durante el compost.

Durante el proceso de compostaje, para que funcione lo mejor posible, se deberán monitorear cuatro parámetros principales, para corregir cualquier anomalía durante la degradación de los residuos, estos son temperatura, humedad, pH y oxígeno.

Parámetros evaluados durante el compost

En la Tabla 4 se observa los parámetros de monitoreo durante el proceso de compostaje, además sus unidades respectivas de medición. Se muestra también el valor estándar para los parámetros de temperatura, humedad y pH, consultado en el libro Compostaje de Moreno y Moral (2011).

Tabla 4: Parámetros de monitoreo

Parámetro	Equipo	Unidades	Valores Estándar
Temperatura	Termómetro digital	°C	25-75
Humedad	Estufa	%MH	40-70
pH	pH-metro	-	6.5-8.5

Fuente: Moreno y Moral, 2011.

➤ **Temperatura:**

El aumento de temperatura está relacionado con la acción de microorganismos que liberan energía que se disipa durante la degradación de la materia orgánica. El monitoreo de la temperatura por lo tanto permite que la actividad biológica se mida indirectamente, pero no refleja la calidad de estas degradaciones. La medición de temperatura de las pilas se realiza cada semana, al inicio de semana antes del comienzo de las labores.

El compostaje inicia a temperatura ambiente y puede subir hasta los 65°C sin necesidad de ninguna actividad antrópica (calentamiento externo), para llegar nuevamente durante la fase de maduración a una temperatura ambiente. (FAO, 2013)

Las pilas de compostaje iniciaron a temperatura de ambiente y posteriormente ésta logró subir hasta los 65°C sin necesidad de ninguna actividad antrópica (calentamiento externo), en la fase de maduración alcanzó una temperatura ambiente. La medición de la temperatura de las pilas de compostaje se realizó mediante un Multiparámetro “Soil meter” (4 en 1), el cual se realizaba quincenalmente.



Figura 6. Medición de Temperatura

Fuente: Elaboración propia, 2019

➤ **Oxígeno:**

El compostaje es un proceso aerobio y se debe mantener una aireación adecuada para permitir la respiración de los microorganismos, liberando a su vez, dióxido de carbono (CO_2) a la atmósfera (FAO, 2013). Esto debe estar permanentemente presente en cantidad suficiente para que la degradación aeróbica de la bacteria sea efectiva. Es aún más importante tener un compost bien oxigenado durante las primeras fases, porque este es el período donde la actividad biológica es más fuerte y por lo tanto debe consumir una gran cantidad de oxígeno. Cuando se agota por la falta de vuelco o durante la compactación del material, por ejemplo, la actividad biológica disminuye gradualmente hasta que se detiene. Puede ser reemplazado por fermentación anaeróbica que luego generará olores desagradables. Por lo tanto, es necesario proporcionar, en el material a compostar, oxígeno por aireación para mantener un nivel de oxígeno suficiente.

La eficiencia del proceso de compostaje dependerá de la velocidad de transferencia de oxígeno disponible en las lagunas a los microorganismos. De hecho, el sustrato orgánico biodegradable está en cantidades muy grandes para los microorganismos, el factor limitante es el oxígeno. Pero se debe tener cuidado de no generar excesiva aireación, volviendo y mezclando la pila con demasiada frecuencia, esto podría conducir a un enfriamiento de la pila y, por lo tanto, a una disminución de la actividad biológica.

El sistema de aireación es un por sistema móvil, el cual se realizó por el método tradicional, es decir se utilizó una herramienta zapa (Figura 7) o con un minicargador frontal de la marca Bobcat (Figura 8), es decir se realizan volteos periódicos, con quince días de frecuencia. Las pilas, a las cuales se incorporan cañerías perforadas, que favorecen una oxigenación asistida (no forzada) o también llamada aireación pasiva (Rynk et al., 1992), estas cañerías se añadían a las pilas después de los volteos quincenales (Figura 9).



Figura 7. Herramienta zapa para volteo

Fuente: Elaboración propia, 2021.



Figura 8. Volteo con minicargador frontal de la pila de compostaje

Fuente: Elaboración propia



Figura 9. Aireación pasiva con cañerías perforadas

Fuente: Elaboración propia, 2021.

➤ **Humedad:**

Durante las reacciones de degradación, hay una producción de agua que es menor que la evaporación, por lo que no es suficiente. Es por eso que es aconsejable mantener una humedad constante dentro de la pila, mediante un riego de ésta para mantener la actividad biológica.

El agua presente en el compost es, por lo tanto, esencial para la vida y el desarrollo de los microorganismos, pero también desempeña un papel importante en el transporte de partículas. Las pérdidas de agua se relacionan simultáneamente con la evaporación debida al aumento de la temperatura, así como a la aireación durante las inversiones del viento.

En procesos en que los principales componentes sean sustratos tales como aserrín, astillas de madera, paja y hojas secas, la necesidad de riego durante el compostaje es mayor que en los materiales más húmedos, como residuos de cocina, hortalizas, frutas y cortes de césped. El rango óptimo de humedad para compostaje es del 45% al 60% de agua en peso de material base (FAO, 2013). Por ello, para mantener la humedad óptima de la pila se regaba esta periódicamente con una manguera, hasta lograr que el estiércol este húmedo, creando una mezcla pastosa.

Para la medición del porcentaje de humedad en el compostaje los primeros meses se realizó con la prueba de puño (Figura 10) y posteriormente se midió con el Multímetro. La prueba de puño consistió en agarrar una cantidad del sustrato con el puño de una mano, posteriormente se le aplicó la fuerza, lo normal de un brazo, y si sale 4 gotas la humedad estaba en un 50 % aproximadamente.



Figura 10. Evaluación de humedad de la pila por el método del puño

Fuente: Elaboración propia, 2021.

➤ **Potencial de Hidrógeno (pH)**

El pH del compostaje depende de los materiales de origen y varía en cada fase del proceso (desde 4.5 a 8.5). En los primeros estadios del proceso, el pH se acidifica por la formación de ácidos orgánicos. En la fase termófila, debido a la conversión del amonio en amoníaco, el pH sube y se alcaliniza el medio, para finalmente estabilizarse en valores cercanos al neutro. El pH define la supervivencia de los microorganismos y cada grupo tiene pH óptimos de crecimiento y multiplicación. La mayor actividad bacteriana se produce a pH 6-7,5, mientras que la mayor actividad fúngica se produce a pH 5,5-8. El rango ideal es de 5,8 a 7,2. (FAO, 2013)

La medición de pH se realizó con el Papel tornasol durante los primeros meses (Figura 11) y luego se utilizó el multiparámetro para suelo, cuatro en uno.



Figura 11. Medición de pH con papel tornasol

Fuente: Elaboración propia, 2019

2.3.8 Almacenamiento de compost.

Una vez que el tratamiento se haya realizado completamente, 3 meses (verano) o 5 meses (invierno) aproximadamente, el compost es tamizado para separar las partículas finas de las gruesas que no se hayan degradado lo suficiente; este material tamizado es envasado en costales de rafia para 50 kilogramos o 25 kg según la necesidad. (Figura 12).



Figura 12. Pesado y Almacenado de Compost

Fuente: Elaboración propia.

2.3.9 Distribución.

Se distribuyó para su uso en el mantenimiento de parques y jardines del distrito (Figura 13), además se repartirá gratuitamente en los eventos y actividades del programa EDUCCA.

Asimismo, se procedió a envasarlo en bolsas de papel de dimensiones de 0,25 cm por 0,27 m (Figura 14) para ser distribuido a los administrados de la zona 6 del distrito y propietarios del mercado municipal, a modo de incentivo y, a su vez, puedan identificar los impactos positivos de la segregación de los residuos sólidos orgánicos.



Figura 13. Uso en el mantenimiento de parques y jardines

Fuente: Subgerencia de Gestión ambiental, 2019.



Figura 14. Incentivos para los administrados participantes

Fuente: Subgerencia de Gestión ambiental, 2019.

2.3.10 Cronograma.

Tabla 5. Cronograma de intervención

N°	ACTIVIDADES	DESCRIPCIÓN	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1	Valorización de residuos orgánicos	Implementación y habilitación de Planta de valorización de residuos orgánicos	X						
2	Capacitación y sensibilización sobre gestión y manejo de residuos sólidos orgánicos	Personal de sensibilización y recolección selectiva capacitado (promotores ambientales) Viviendas y propietarios de puestos de mercado capacitado	X						
3	Gestionar los diferentes implementos y/o indumentaria, materiales y equipos que se utilizarán en el desarrollo y ejecución del proyecto piloto de valorización de Residuos orgánicos	Realizar el requerimiento	X						
4	Entrega de contenedores para residuos orgánicos	Entrega de un contenedor a los vecinos participantes		X	X				
5	Recolección selectiva de residuos sólidos orgánicos	Recolección domiciliaria		X	X	X	X	X	
6	Acopio de residuos	Recolección en mercados		X	X	X	X	X	
7	Evaluación de parámetros de temperatura y pH	Recolección de maleza		X	X	X	X	X	
8	Producción de compost	Medición de parámetros						X	X
9	Supervisión	Compostaje de residuos municipales orgánicos	X	X	X	X	X	X	X
10	Informe final de resultado del Plan de valorización de residuos sólidos orgánicos municipales	Control de actividades							X

Fuente: Elaboración propia, 2021.

2.3.11 Presupuesto.

El presupuesto asignado para el Plan anual de valorización de los residuos orgánicos se encuentra detallado en la Figura 15.

SIAF - Módulo de Proceso Presupuestario
Version 18.08.00

Fecha : 26/04/2019
Hora : 11:04:47
Pag : 3 de 4

MARCO PRESUPUESTAL Vs CERTIFICACION - 2019
DEL MES DE ENERO A DICIEMBRE
(EN NUEVOS SOLES)

DEPARTAMENTO : 15 LIMA
PROVINCIA : 01 LIMA
PLIEGO : 21 MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE PUEBLO LIBRE (301270)

SEC FUNC FF RB	PRG/PROD/PROY CATEGORIA ESPECIFICA DET	ACT/IN/OPR	FU DNF GRPF	PIA	MODIF. PPTALES.	PIM (a)	TOTAL CERTIFICADO (b)	SALDO (a - b)	% AVANCE (b / a)
2 RECURSOS DIRECTAMENTE RECAUDADOS									
09 RECURSOS DIRECTAMENTE RECAUDADOS									
2.3.2.7.2.99	OTROS SERVICIOS SIMILARES			0	22.500	22.500	7.500,00	15.000,00	33,33
2.3.2.7.7.2	SERVICIO DE REMEDIACION AMBIENTAL			0	2.114.887	2.114.887	1.626.962,44	487.924,56	76,93
PARCIAL RUBRO 09:				0	2.137.387	2.137.387	1.634.462,44	502.924,56	76,47
PARCIAL FTE 2				0	2.137.387	2.137.387	1.634.462,44	502.924,56	76,47
TOTAL META				0	2.137.387	2.137.387	1.634.462,44	502.924,56	76,47
0640 0036.3000848.5006160 VALORIZACION DE RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES 17.055.0124									
Meta: 00901 - 0234233 VALORIZACION DE RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES, TONELADA: 200.000, LIMA, LIMA, PUEBLO LIBRE									
2 RECURSOS DIRECTAMENTE RECAUDADOS									
09 RECURSOS DIRECTAMENTE RECAUDADOS									
2.3.1.2.1.1	VESTUARIO, ACCESORIOS Y PRENDAS DIVERSAS			0	210	210	0,00	210,00	0,00
2.3.1.5.1.1	REPUESTOS Y ACCESORIOS			0	4.751	4.751	4.750,68	0,32	99,99
2.3.1.5.1.2	PAPELERIA EN GENERAL, UTILES Y MATERIALES DE OFICINA			0	223	223	0,00	223,00	0,00
2.3.1.5.2.1	AGROPECUARIO, GANADERO Y DE JARDINERIA			0	40	40	0,00	40,00	0,00
2.3.1.5.3.1	ASEO, LIMPIEZA Y TOCADOR			0	1.000	1.000	863,15	146,85	86,32
2.3.1.99.1.99	OTROS BIENES			0	1.000	1.000	0,00	1.000,00	0,00
2.3.2.7.2.99	OTROS SERVICIOS SIMILARES			0	88.200	88.200	60.840,00	27.360,00	68,96
2.3.2.7.11.6	SERVICIO DE IMPRESIONES, ENCUADERNACION Y EMPASTADO			0	5.500	5.500	3.904,00	1.596,00	71,53
2.3.2.8.1.1	CONTRATO ADMINISTRATIVO DE SERVICIOS			0	3.000	3.000	0,00	3.000,00	0,00
2.3.2.8.1.2	CONTRIBUCIONES A ESSALUD DE C.A.S.			0	1.000	1.000	0,00	1.000,00	0,00
PARCIAL RUBRO 09:				0	104.924	104.924	70.377,83	34.546,17	67,08
PARCIAL FTE 2				0	104.924	104.924	70.377,83	34.546,17	67,08
TOTAL META				0	104.924	104.924	70.377,83	34.546,17	67,08

Figura 15. Marco presupuestal del año 2019

Fuente: Gerencia de Planeamiento y presupuesto, 2019.

2.4 Mejora de procesos de la planta de compostaje

Si bien el planeamiento de la planta de compostaje es el más apropiado, la llegada de materiales, insumos y mobiliario no es de manera inmediata por lo que se necesita optimizar los rendimientos de los procesos para llegar a la meta propuesta por el MINAM el cual corresponde a 24,6 toneladas para el distrito, para el año 2019.

Por eso, debido a que con los recursos que se tenían a disposición era muy difícil de llegar a la meta planteada el año 2019 por el MINAM para el distrito, se recurre a analizar que procesos necesitarían una mejoría a corto plazo, para así cumplir con la meta propuesta para el año en curso.

La propuesta de mejora utilizó dos herramientas para hallar la mejoría de los procesos, la primera que consiste en la técnica del Brainstorming y la segunda corresponde a la encuesta cuantitativa para determinar los procesos de mayor dificultad y tomar decisiones en torno a estas dos técnicas empleadas, concluyendo que el proceso más factible de cambiar era el de “volteo y riego de la pila”.

2.4.1 Brainstorming.

Esta herramienta consiste en cuatro etapas. La primera fase, delimita el problema o asunto como un desafío creativo. La segunda etapa, estriba en la producción de ideas. La tercera etapa, se hace un análisis de las ideas, y en cuarta etapa se procede a realizar un resumen y una conclusión. (Vivas, 2010)

De esta manera, entre los procesos a mejorar se eligieron los de tipo operacional, ya que son los que directamente son manejados por el área; por lo tanto, se utilizó esta técnica, encontrando lo siguiente:

- Poca eficiencia en el tiempo y energía de recojo de residuos, solo hay una persona que se encarga de recoger las bolsas con residuos y trasladarlas a la unidad vehicular.

- Se mide el total de basura acumulada, incluyendo residuos inorgánicos: Cuando las bolsas son entregadas a la planta de compostaje, estas son pesadas tal cual llegan. Esto produce un problema en la medición de residuos orgánicos, ya que las bolsas también contienen residuos inorgánicos y desechos. Todo ello genera data falsa.
- Falta de mano de obra o maquinaria adecuada en la trituración de residuos.
- Falta de mejores equipos para verificar el estado del compost.
- No se evidencia una segregación correcta de los residuos.
- Procesos que acarrearán mucha demanda física.

2.4.2 Encuestas

La encuesta es un instrumento para recoger información cualitativa y/o cuantitativa de una población estadística. Para ello, se elabora un cuestionario, cuyos datos obtenidos serán procesados con métodos estadísticos. (Westreicher, 2020)

Para identificar los problemas operacionales en el proceso de Valorización de Planta de compostaje, se procedió a realizar una encuesta cuantitativa para evaluar el proceso de mayor dificultad, esto para reforzar los hallazgos encontrados con la técnica anterior.

Para esto se escogieron nueve procesos para identificar cuáles eran los que tenían más dificultad, resultando un gráfico circular mostrándonos la percepción de los colaboradores con los procesos de mayor dificultad (Figura 16). Esto sirvió para discriminar los procesos vitales de los muchos triviales y enfocar los esfuerzos en optimizar procesos con las herramientas o equipos dispuestos en la corporación.

Como primera medida se realizó la selección de nueve procesos los cuales se consideraban más complicados, de estos nueve se determinarían los cuatro más importantes, realizando así otra nueva encuesta para finalmente obtener un gráfico de torta representando a los cuatro procesos vitales donde se pondría atención para obtener mejores resultados.

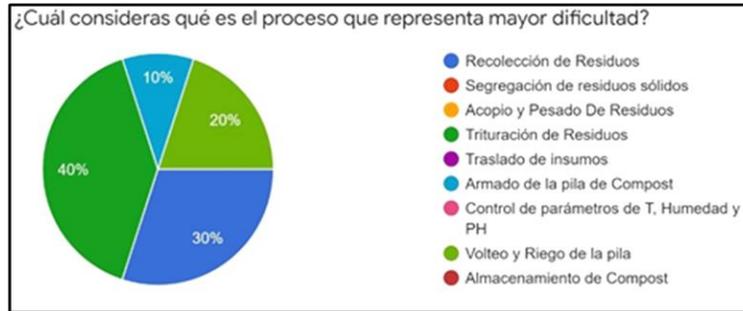


Figura 16. Encuesta cuantitativa procesos de mayor dificultad

Fuente: Subgerencia de Gestión Ambiental, 2019.

En efecto, la percepción de los procesos muestra que la ‘trituración de residuos es el proceso con mayor de dificultad por parte de los colaboradores, seguido de ‘recolección de residuos’ y el tercero correspondió al “volteo y riego de la pila”.

2.5 Metodología para optimización de planta de compostaje.

La optimización del proceso de Valorización de la Planta de compostaje tuvo dos técnicas las cuales fueron desarrolladas tanto en el curso de Administración como el Planeamiento estratégico el cual correspondía al tema de toma de decisiones.

La toma de decisiones se define como la selección de un curso de acciones entre alternativas, es decir que existe un plan, un compromiso de recursos de dirección o reputación. (Florencio, 2011).

En el análisis del proceso con base a nuestras dos herramientas antes mencionadas se encontró que la falta de mano de obra o uso de máquina para la trituración de residuos era la forma más adecuada para la mejora del proceso, sin embargo, se descartó esta primera opción (uso de máquina trituradora) puesto se necesita comprar una máquina trituradora o crear una según la demanda de la actividad y capacitar a los trabajadores con su uso, además de mencionar que no habría durante el año en curso una mejora presupuestaria, por lo que se concentraría en el análisis del proceso siguiente.

La recolección de residuos orgánicos es el segundo problema percibido debido a que no existe un lugar establecido para dicha actividad, es decir, los colaboradores tienen que dirigirse a cada establecimiento para recaudar los desechos sin el apoyo de todos implementos necesarios, tales como, guantes, o zapatos adecuados, entre otros, las cuales posiblemente podrían perjudicar la adecuada recolección. Asimismo, el hecho de que los residuos no estén distribuidos correctamente impide que el personal pueda realizar esta función con mayor facilidad. Se planteó por lo tanto la colocación de contenedores diferenciados en las fuentes de segregación más importantes (mercados) como los que se observan en la Figura 17, resultando esta acción inviable ya que no se podía contar con estos recipientes para el año en curso.



Figura 17. Contenedores grandes con colores diferenciados para recolectar residuos

Fuente: Diario “El Norte”, 2019

En ese sentido se procedió a elegir para mejorar el tercer proceso que corresponde a volteo y riego, para lo cual se eligió a una de ellas, la cual correspondió al volteo puesto que se consiguió la maquinaria apropiada para maximizar la eficiencia de la planta de compostaje.

2.5.1 Descripción del proceso convencional.

El proceso se logra de forma manual, es decir se utiliza una herramienta llamada zapa, la cual es utilizada por los operarios para realizar el volteo. Se contrata por lo tanto tres operarios

adicionales con experiencia en la labor. Cuando las pilas se encuentran con poco volumen, esta acción no percibe ningún inconveniente ya que no necesita de mayor esfuerzo; sin embargo, conforme el volumen incrementa, la exigencia de trabajo es mayor, por eso surge la necesidad de contratar más mano de obra.

2.5.2 Contribución.

Como contribución se planteó en primer lugar, aumentar la mano de obra para dicha actividad, aunque al principio fue de mucha ayuda, aumentar tres operarios para este proceso, pero mientras las camas fueron apilando más material orgánico el trabajo se hizo cada vez más pesado, necesitando así una pronta solución al respecto puesto que el tiempo utilizado en la actividad fue incrementando.

Debido a la exigencia de trabajo, y el costo por el empleo de tres operarios más en la actividad, se plantea el uso de maquinaria para realizar dicho proceso, por lo que se programó en el último día de la semana al medio día, para realizar el proceso de volteo después de realizar el apilamiento de los residuos no truncando así el proceso normal de acopio de residuos.

2.5.3 Elección de la maquinaria a usar

El modelo de la maquinaria a usar corresponderá a un mini cargador Bobcat S630 del año 2014, el cual tiene una potencia de 74 caballos de vapor (CV)³. De esta manera, el trabajo de 4 horas se reduciría a menos de una hora, permitiendo así realizar una mejor aireación de la pila volteada durante aquel día, así como lograr apilar una mayor cantidad de residuos en otras pilas, ya que se podría realizar dos actividades en una misma jornada laboral.

³ Especificaciones de la máquina: a) Capacidad nominal estipulada: 1040 kg
b) Carga de vuelco: 2079 kg
c) Velocidad de desplazamiento máxima: 11,4 km/h
Motor: c) Número de cilindros: 4
d) Cilindrada: 2392 cm³
Pesos: a) Peso operativo: 3452 kg
b) Peso de envío: 3201 kg



Figura 18. Maquina alquilada para el proceso de volteo

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO III

3.1 Parámetros de monitoreo durante el compostaje.

En la tabla 6 se muestran las mediciones promedio de los parámetros de monitoreo medidos durante el proceso de compostaje obtenido de todas las cinco pilas, medidos a lo largo de los meses de valorización.

Tabla 6: Resultados mensuales promedios de los parámetros evaluados

Parámetros	Temperatura	pH	Humedad
Meses	(C°)		(%)
Julio	25	6.5	51
Agosto	48	7.1	60
Setiembre	65	7.4	55
Octubre	50	7.2	49
Noviembre	34	7.1	44
Diciembre	25	7	40

Fuente: Elaboración propia, 2019.

La siguiente imagen muestra la evolución de los parámetros físico químicos de la producción del compost, se observa que la etapa termofila llegó a 65°C de temperatura en el mes de setiembre. Así mismo se observa que el % de Humedad va disminuyendo al pasar el tiempo, así como el valor de pH, se mantiene constante.

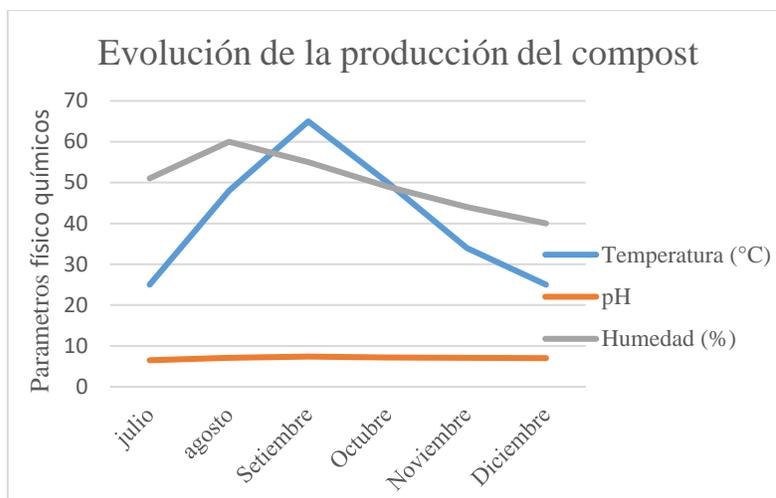


Figura 19. Evolución de la producción de compost en las pilas de compostaje

Fuente: Elaboración propia

3.2 Comparación de costos por los dos métodos de volteo

Como solución inmediata se tomó decidió contratar tres operarios adicionales para el volteo, el cual se realizaba cada 15 días; por lo cual, se procedió a su contratación inmediata, sin embargo, estos obreros con experiencia en la labor cobran por sus servicios más que un operario común, además que todo el personal se dedicó a apoyar la actividad para cubrir toda la faena.



Figura 20. Volteo manual de la pila de compostaje

Fuente: Subgerencia de Gestión Ambiental, 2019.

Por lo tanto, se decidió contratar para el volteo, la actividad con mayor esfuerzo según encuestas, un mini cargador frontal de la marca Bobcat el cual tenía una capacidad máxima superior a una tonelada.



Figura 21. Volteo con minicargador de la pila de compostaje

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se analizaron los costos implicados en el proceso del volteo con los métodos empleados; ver tabla 7 y 8, en estas se analizaron los costos diferenciados de cada uno de los métodos.

Tabla 7. Costo de manufactura de compost con la adición de mano de obra

Costo de Manufactura					
Determinación del Costo de Producción					
PRODUCTO	COMPOST	COSTO POR UNIDAD			
CANTIDAD	15325	COSTO FIJO UNITARIO	\$ 0.32	COSTO VARIABLE UNITARIO	\$ 1.00
		COSTO TOTAL UNITARIO	\$ 1.32		
Costos asociados a la producción					
CANTIDAD	IMPORTE (S./)	MEDIDA	DETALLE	COSTO FIJO	COSTO VARIABLE
DIFUSIÓN					
1	50	Millar	Volantes	\$ 50.00	
2	50	Banners	Banners	\$ 100.00	
MATERIA PRIMA					
280	5	sacos	Guano de cuy saco de 25 kg	\$ 1,400.00	
6	3	sacos	Saco de aserrín de 25 kg	\$ 18.00	
10	1	bolsas	Cal viva bolsas de 1kg	\$ 10.00	
INSTRUMENTOS					
1	120	unidades	Multiparámetro	\$ 120.00	
ESTRUCTURA					
1	180	unidades	Cubierta de cerca	\$ 180.00	
1	250	unidades	Cerco perimétrico de postes	\$ 250.00	
MATERIALES					
3	30	unidades	Lampa rectas	\$ 90.00	
3	40	unidades	lampas carboneras	\$ 120.00	
2	50	unidades	zapas	\$ 100.00	
1	200	unidades	Carretilla buggy	\$ 200.00	
3	25	unidades	Rastrillo	\$ 75.00	
4	15	unidades	machete	\$ 60.00	
1	100	unidades	tamiz 3/8"	\$ 100.00	
1	330	unidades	manguera de 3/4" x 100 m	\$ 330.00	
3	25	unidades	tubos para aireación	\$ 75.00	
500	0.5	unidades	sacos de rafia de 25 kg	\$ 250.00	
15	4	unidades	Pabito de algodón de 250 g	\$ 60.00	
1	6	unidades	Papel tornasol	\$ 6.00	
12	26	unidades	contenedores de 13 L	\$ 312.00	
EQUIPOS					
1	220	unidades	balanza electrónica portatil 300 kg	\$ 220.00	
IMPLEMENTOS					
4	10	Par	Guantes de jebe	\$ 40.00	
4	6	par	guantes de hilo rojo	\$ 24.00	
4	5	unidades	Lentes de seguridad	\$ 20.00	
4	25	par	Botas de jebe	\$ 100.00	
4	50	unidades	Mameluco	\$ 200.00	
4	50	unidades	Mascarillas con filtros	\$ 200.00	
INSUMOS					
500	0.5	Unidades	Bolsas Poliet	\$ 250.00	
OTROS					
5	930	meses	Mano de Obra produccion		\$ 4,650.00
6	500	meses	Mano de Obra transporte		\$ 3,000.00
10	240	días	Mano de Obra Volteo		\$ 2,400.00
5	210	días	Mano de obra tamizado-embolsado		\$ 1,050.00
6	700	meses	Supervisión		\$ 4,200.00
210	0	días	Alquiler local		\$ 0.00
Total				\$ 4,960.00	\$ 15,300.00

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Tabla 8: Costo de manufactura de compost con el uso de minicargador Bobcat

Costo de Manufactura					
Determinación del Costo de Producción					
PRODUCTO	COMPOST	COSTO POR UNIDAD			
CANTIDAD	15325	COSTO FIJO UNITARIO	\$ 0.32	COSTO VARIABLE UNITARIO	\$ 0.89
		COSTO TOTAL UNITARIO	\$ 1.22		
Costos asociados a la producción					
CANTIDAD	IMPORTE (S./)	MEDIDA	DETALLE	COSTO FIJO	COSTO VARIABLE
DIFUSIÓN					
1	50	Millar	Volantes	\$ 50.00	
2	50	Banners	Banners	\$ 100.00	
MATERIA PRIMA					
280	5	sacos	Guano de cuy saco de 25 kg	\$ 1,400.00	
6	3	sacos	Saco de aserrín de 25 kg	\$ 18.00	
10	1	bolsas	Cal viva bolsas de 1kg	\$ 10.00	
INSTRUMENTOS					
1	120	unidades	Multiparámetro	\$ 120.00	
ESTRUCTURA					
1	180	unidades	Cubierta de cerca	\$ 180.00	
1	250	unidades	Cerco perimétrico de postes	\$ 250.00	
MATERIALES					
3	30	unidades	Lampa rectas	\$ 90.00	
3	40	unidades	lampas carboneras	\$ 120.00	
2	50	unidades	zapas	\$ 100.00	
1	200	unidades	Carretilla buggy	\$ 200.00	
3	25	unidades	Rastrillo	\$ 75.00	
4	15	unidades	machete	\$ 60.00	
1	100	unidades	tamiz 3/8"	\$ 100.00	
1	330	unidades	manguera de 3/4" x 100 m	\$ 330.00	
3	25	unidades	tubos para aireación	\$ 75.00	
500	0.5	unidades	sacos de rafia de 25 kg	\$ 250.00	
1	6	unidades	Papel tornasol	\$ 6.00	
15	4	unidades	Pabulo de algodón de 250 g	\$ 60.00	
12	26	unidades	contenedores de 13 L	\$ 312.00	
EQUIPOS					
1	220	unidades	balanza electrónica portatil 300 kg	\$ 220.00	
IMPLEMENTOS					
4	10	Par	Guantes de jebe	\$ 40.00	
4	6	par	guantes de hilo rojo	\$ 24.00	
4	5	unidades	Lentes de seguridad	\$ 20.00	
4	25	par	Botas de jebe	\$ 100.00	
4	50	unidades	Mameluco	\$ 200.00	
4	50	unidades	Mascarillas con filtros	\$ 200.00	
INSUMOS					
500	0.5	Unidades	Bolsas Poliet	\$ 250.00	
OTROS					
5	930	meses	Mano de Obra produccion		\$ 4,650.00
6	500	meses	Mano de Obra transporte		\$ 3,000.00
10	80	días	Alquiler de máquina		\$ 800.00
5	210	días	Mano de obra tamizado-embolsado		\$ 1,050.00
6	700	meses	Supervisión		\$ 4,200.00
210	0	días	Alquiler local		\$ 0.00
Total				\$ 4,960.00	\$ 13,700.00

Fuente: Elaboración propia, 2021.

3.3 Discusión de resultados

En el primer caso para el tipo de volteo convencional, adicionando mano de obra calificada se obtuvo un costo unitario de 1,32 soles por kg de compost, comparado con el costo unitario luego de realizar el proceso con el volteo con maquinaria se obtuvo un costo unitario de 1,22 soles, dándose una reducción de costos de 0,1 soles, asimismo se obtuvo una reducción de tiempos considerables, reduciendo la jornada de trabajo de 4 horas a 1 hora.

La reducción de costos del producto final fue de 0,1 céntimos; el mismo que sirvió para comprobar la mejora del rendimiento del volteo y del todo el proceso en general, además que se evitó el agotamiento del personal y las horas restantes se emplearon para realizar la trituración de residuos y apilamientos en las pilas.

Asimismo, hay que mencionar que no se analizó el precio de venta del producto ya que ese no era el objetivo del Proyecto, sino más bien la introducción de los residuos orgánicos mediante otra forma beneficiosa al distrito, entre los usos que se dieron al compost fue para el uso en vivero, en parques, restauración de retiros, además se repartió en las actividades del programa EDUCCA en el verano del siguiente año.

En la caracterización química del compost se evaluó los tres valores más importantes de calidad del compostaje, los cuales son humedad, temperatura y pH. Como se puede observar en la Fig 6, los tres parámetros medidos a lo largo de los meses se encuentran dentro de los rangos recomendados en el monitoreo durante el procesamiento del compost, concordando estos valores con Moreno y Moral (2011), así mismo en la etapa termófila se llegó a una temperatura de 65 °C en el mes de setiembre.

CONCLUSIONES

- ✓ Se logró optimizar la planta de compostaje al mejorar el proceso de volteo, lo cual ha permitido obtener un compost en menor tiempo y la disminución de la mano de obra, por consiguiente se bajaron los costos de producción.
- ✓ Se identificaron los procesos de mayor dificultad en la planta de compostaje. Siendo el más dificultoso la trituración de residuos, seguido de la recolección y en tercer lugar el volteo.
- ✓ Al disminuir el proceso de volteo (4 horas) a 1 hora, se han reducido los costos de producción.

RECOMENDACIONES

- ✓ Realizar un estudio de la calidad del producto obtenido y el uso de una máquina trituradora para mejorar aún más la reducción de tiempos del proceso.
- ✓ Hacer uso de mejores tecnologías para maximizar así no sólo el uso del área, sino también del tiempo para lograr captar mayor cantidad de residuos.
- ✓ Se recomienda tener un estudio de procesos para mejorar el rendimiento de la Planta de valorización ya que la planta empezó sus actividades el año 2019.
- ✓ No dejar sobremadurar el compost, ya que al extender el tiempo de fermentación, además de aumentar costos, el compost pierde sus nutrientes.
- ✓ Usar instrumentos de mejor precisión y exactitud en la medición de los parámetros, para así evitar resultados muy variables.
- ✓ Para lograr una mayor concientización de los administrados, se recomienda extender el proyecto, no sólo a la zona 6 del distrito sino que involucrar a otras zonas del distrito.

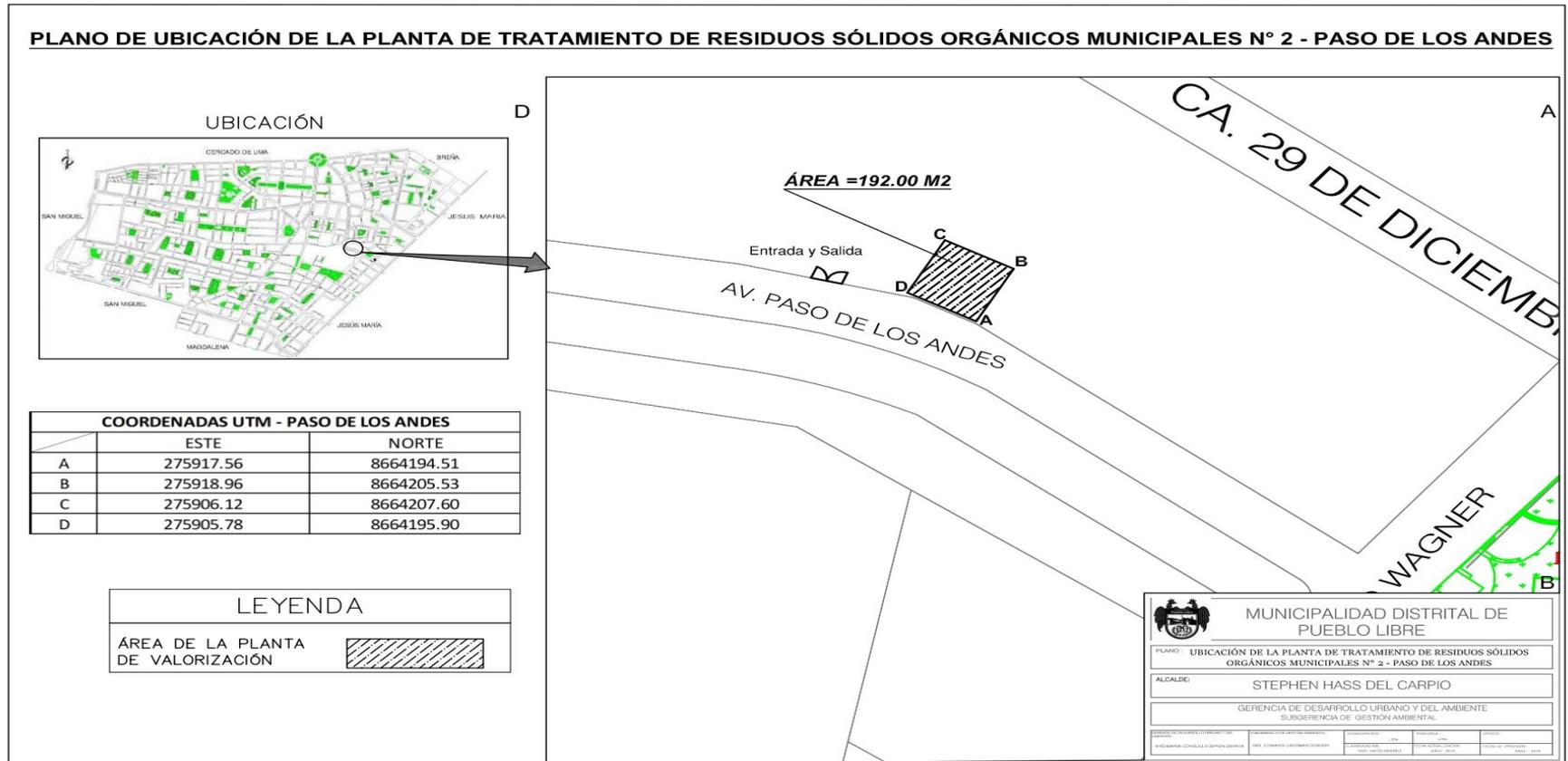
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barndt, S. E. y Carvey, D. W. (1982). *Essentials of Operations Management*. Englewood Cliffs, EU: Prentice - Hall.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación). (2013). *Manual de compostaje del agricultor - FAO*. <http://www.fao.org/3/i3388s/i3388s.pdf>. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/i3388s/i3388s.pdf>
- Florencio, M. (2011). Toma de decisiones y solución de problemas en administración. Recuperado de: <https://www.gestiopolis.com/toma-decisiones-solucion-problemas-administracion/>
- Gobierno Español. (2013). Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes. 78 pp. Recuperado de: <https://www.boe.es/eli/es/rd/2013/06/28/506>
- IMP. 2020. Oficina de planeamiento y presupuesto: Plan de Desarrollo Concertado de Pueblo Libre 2010-2021, Recuperado de: http://imp.gob.pe/wp-content/uploads/2020/09/pueblo_libre_plan_integral_de_desarrollo_concertado_volumen1.pdf
- León, C. (2000). Propiedades de los suelos. Recuperado de: http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/6744/1/200671995247_Propiedades%20de%20los%20suelos.pdf
- MEF (Ministerio de Economía y Finanzas). (2019). Programa de incentivos a la mejora de la gestión municipal del año 2019. Guía para el cumplimiento de la meta 3. www.mef.gob.pe. Recuperado de: https://www.mef.gob.pe/contenidos/presu_publ/migl/municipalidades_pmm_pi/guia_meta_3_A_B_C_D_E.pdf

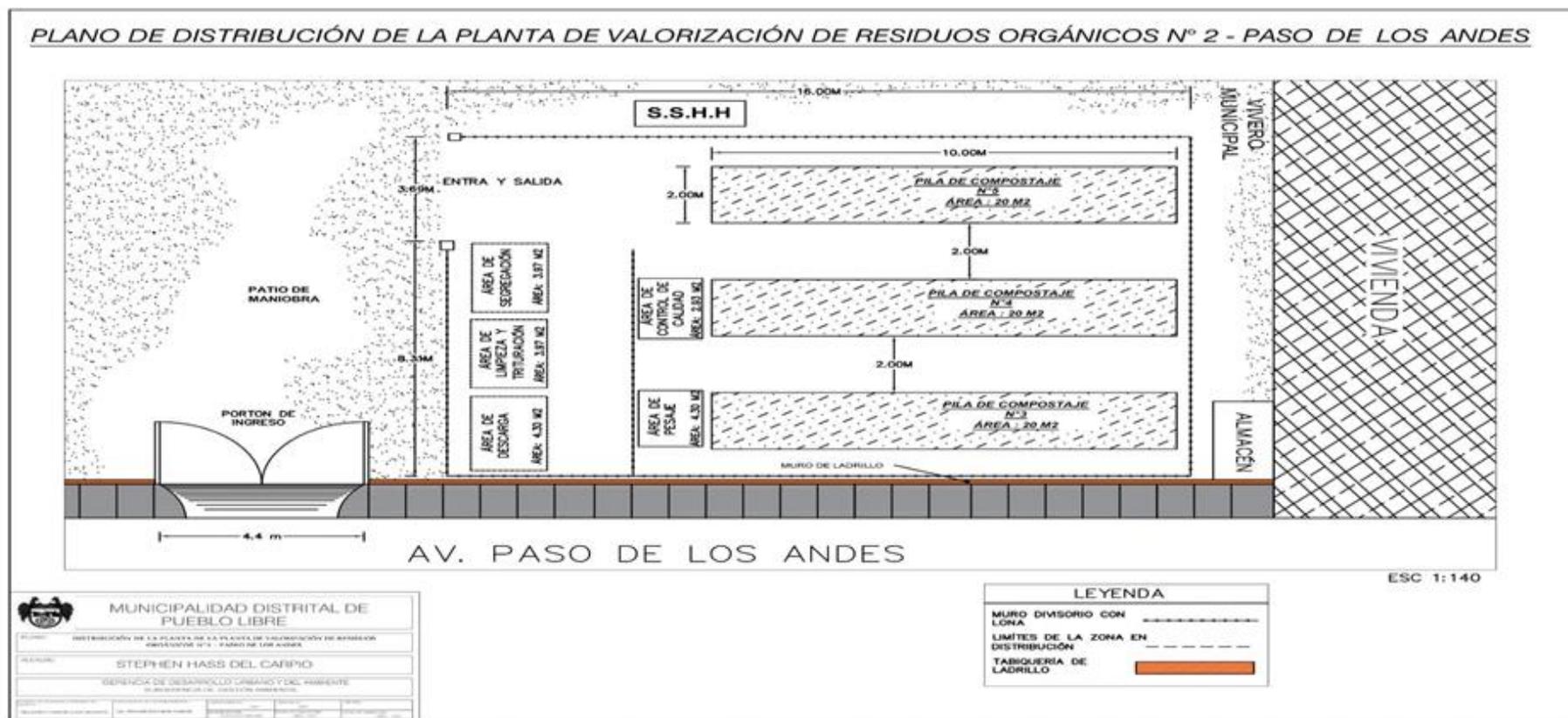
- MINAM (Ministerio del medio Ambiente). (2015). *Guía metodológica para elaborar e implementar un Programa de Segregación en la Fuente y Recolección Selectiva de Residuos Sólidos Municipales*. Recuperado de: <https://redrrss.minam.gob.pe/material/20150302175316.pdf>
- Moreno, J. y Moral, R. (2011). *Compostaje*. Madrid, España: Mundiprensa.
- Municipalidad de Pueblo Libre. (2019). *Historia*. Recuperado de: <https://muniplibre.gob.pe/portal/distrito/historia/>
- Municipalidad de Pueblo Libre. (2019). *Visión Misión*. Recuperado de: <https://muniplibre.gob.pe/portal/municipalidad/mision-y-vision/>
- Ocampo, P., Robles, D. y Wu, A. (2002). *El compostaje como método de biorremediación de suelo contaminado con hidrocarburos. Tesis del Ciclo Optativo*. Universidad Nacional Agraria La Molina. 128 pp.
- OEFA (Oficina de Fiscalización Ambiental en residuos sólidos de gestión municipal provincial). (2014). *Fiscalización Ambiental en residuos sólidos de gestión municipal provincial*. Recuperado de: https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=13926.
- Parlamento Europeo. (2003). *Reglamento (CE) n° 2003/2003 del Parlamento Europeo y del Consejo de 13 de octubre de 2003 relativo a los abonos*.
- Reglamento (CE) N.º 2003/2003 del Parlamento Europeo y del Consejo de 13 de octubre de 2003 relativo a los abonos. Recuperado de: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:02003R2003-20170701&from=EN,G>
- Rynk R., M. Van de Kamp, G. B. Willson, M.E. Singley, T. L. Richard, J.J. Kolega, F.R. Gouin, L. Laliberty, D. Kay, D. W. Murphy, H.A. Hoitink & W.F. Brinton. (1992). *On-Farm Composting Handbook*. Rynk R. (ed.). Northeast Regional Agricultural Engineering Service, Cooperative Extension Service. Ithaca, EU. 186 pp.

ANEXOS

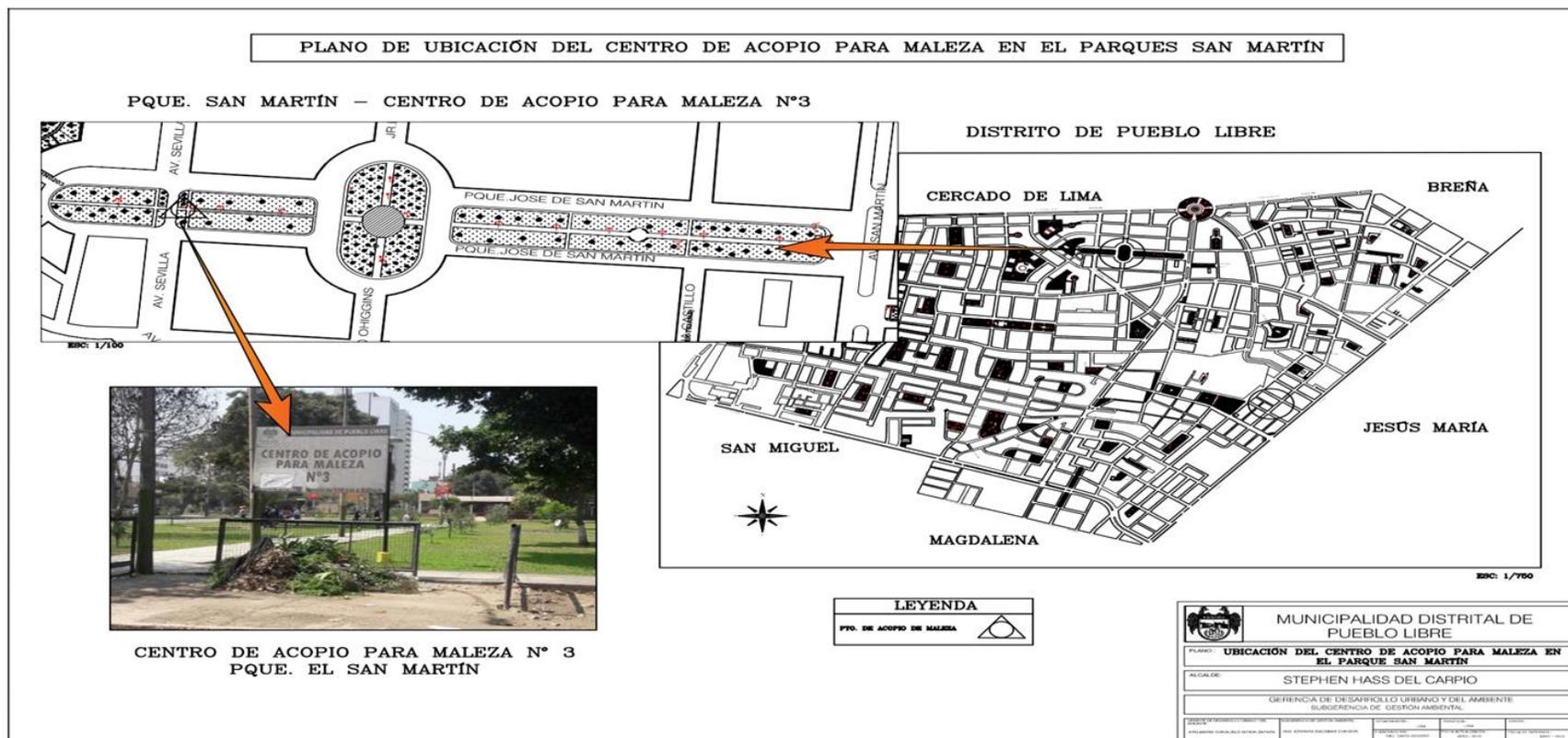
Anexo 1. Plano de ubicación de la Planta de Compostaje



Anexo 2: Plano de distribución de la planta de valorización de residuos orgánicos



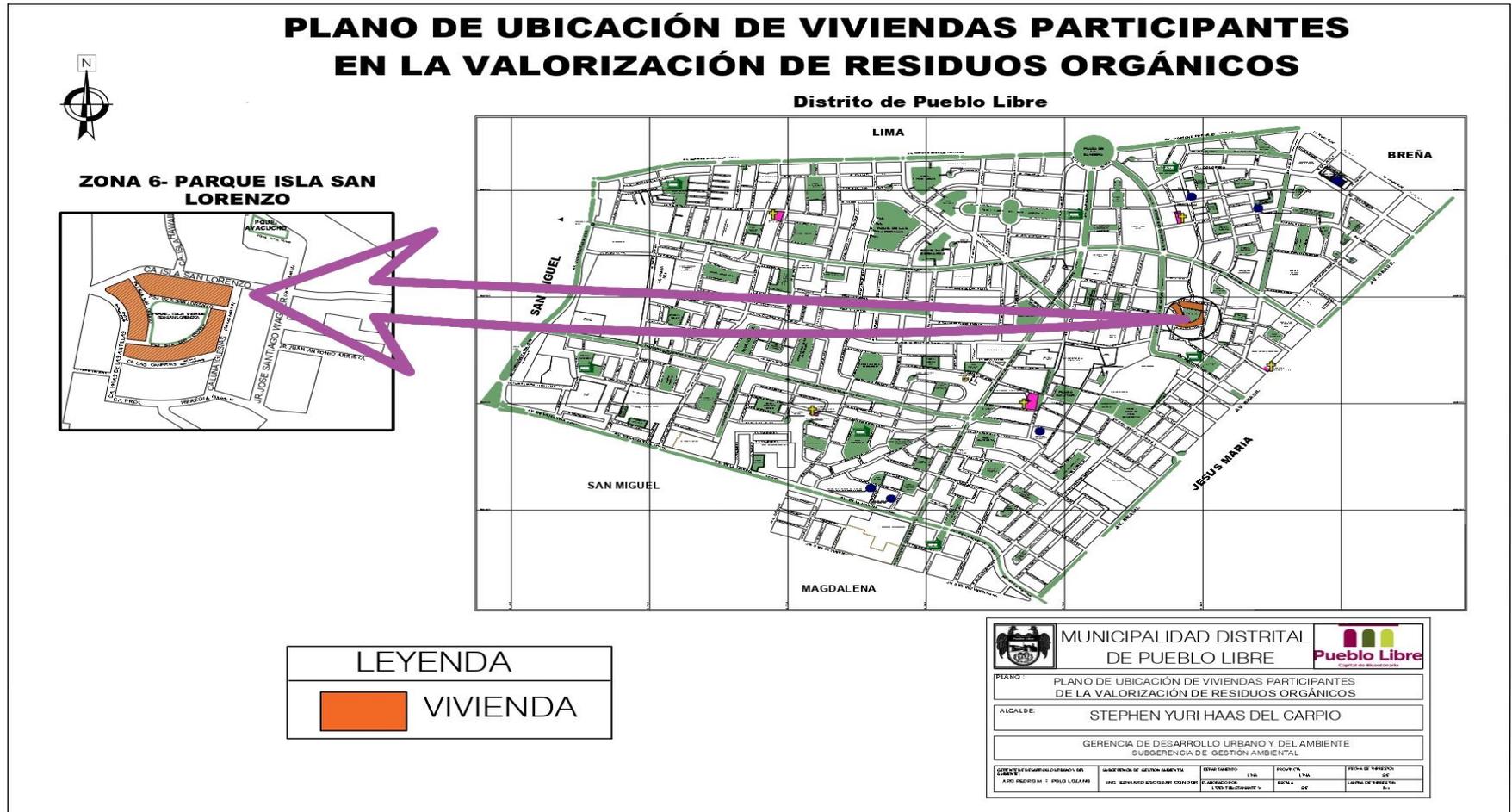
Anexo 3: Plano de ubicación de centro de acopio para maleza en parque San Martín



Anexo 4: Plano de ubicación de mercados participantes en valorización de residuos



Anexo 5: Plano de ubicación de viviendas participantes en la valorización de residuos



Anexo 6: Sector elegido para implementación de piloto de recolección de residuos

