

Universidad Católica de Santa María

Facultad de Arquitectura e Ingeniería Civil y del Ambiente

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



**“EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DEL
TRATAMIENTO ANAERÓBICO Y PLAN DE MANEJO
AMBIENTAL DE RESIDUOS SÓLIDOS GENERADOS
EN EL MERCADO MAYORISTA METROPOLITANO
RÍO SECO – CERRO COLORADO AREQUIPA”**

Tesis presentada por las bachilleres:

Aguilar Vizcarra, Patricia Yohana

Campos Hito, Kelly Alejandra

**Para optar el Título Profesional de:
Ingeniero Ambiental**

Asesor:

Dr. Ing. Roque Rodríguez, Francisco Javier

AREQUIPA-PERÚ

2017

INFORME DICTAMEN DE BORRADOR DE TESIS

VISTO,

El Borrador de tesis Titulado:

EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DEL TRATAMIENTO ANAERÓBICO
Y PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DE RESIDUOS SÓLIDOS GENERADOS
EN EL MERCADO MAYORISTA METROPOLITANO RIO SECO (MMM-RioSeco)

Presentado por el (los) Bachilleres (as):

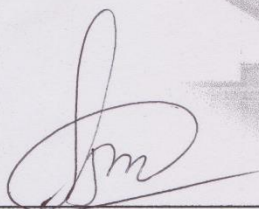
- AGUILAR VIZCARRA PATRICIA YOHANA
- CAMPOS HITO, KELLY ALEJANDRA

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental.

Hechas las correcciones a las observaciones que se encontraron en el mencionado BORRADOR DE TESIS, se da, el DICTAMEN FAVORABLE, para la sustentación.

Arequipa, Diciembre 12, 2017

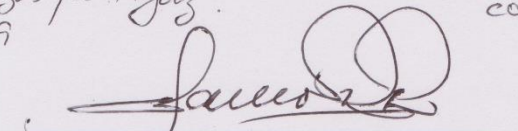
Atentamente,



Blgo. Armando Apenzas Rodríguez
COD. 2829



Ing. María Elizabeth Betarano Ureza
COD. 9205



Dr. Ing. Javier Roque Rodríguez
Cód. 9028

Dedicatoria

A Dios, por brindarme fortaleza.

A mis padres Nelva y Alfonso, por guiarme y apoyarme en cada una de mis metas, por su confianza, sacrificio y su ejemplo por hacerme cada día una mejor persona y profesional.

A mi hermano Alfonso, por su apoyo, amistad y compañía incondicional.

Patricia Yohana Aguilar Vizcarra

A mi madre Esther, que desde el cielo guía mi camino y sé que este momento hubiera sido tan especial para ti.

A mi padre Jesús, quien a lo largo de mi vida ha velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo en todo momento.

A mi hermana Katerinne, que con sus consejos me ha ayudado a afrontar los retos que se me han presentado en mi vida.

Kelly Alejandra Campos Hito

Agradecimientos

Primero y como más importante, nos gustaría agradecer sinceramente a nuestro asesor Dr. Ing. Francisco Javier Roque Rodríguez, por su inestimable ayuda. Sus conocimientos, orientaciones, su manera de trabajar, su persistencia, su paciencia y motivación han sido fundamentales para el logro de la tesis. Él ha inculcado en nosotras un sentido de seriedad y responsabilidad, además logró ganarse nuestra amistad y admiración por todo lo recibo durante la elaboración de esta tesis.

Al Dr. Marco Ponce Mallea, por su desinteresada colaboración y asistencia profesional, por compartir sus conocimientos y darnos apoyo durante el desarrollo de la tesis.

Al Proyecto “Producción y uso del biometano presurizado como sustituto de combustibles fósiles en el sector Agrícola”- PNIA, por su colaboración y préstamo de equipos.



“El mundo natural es la mayor fuente de excitación; la mayor fuente de belleza visual; la mayor fuente de interés intelectual. Es la mayor fuente de tanto en la vida que vale la pena vivir”

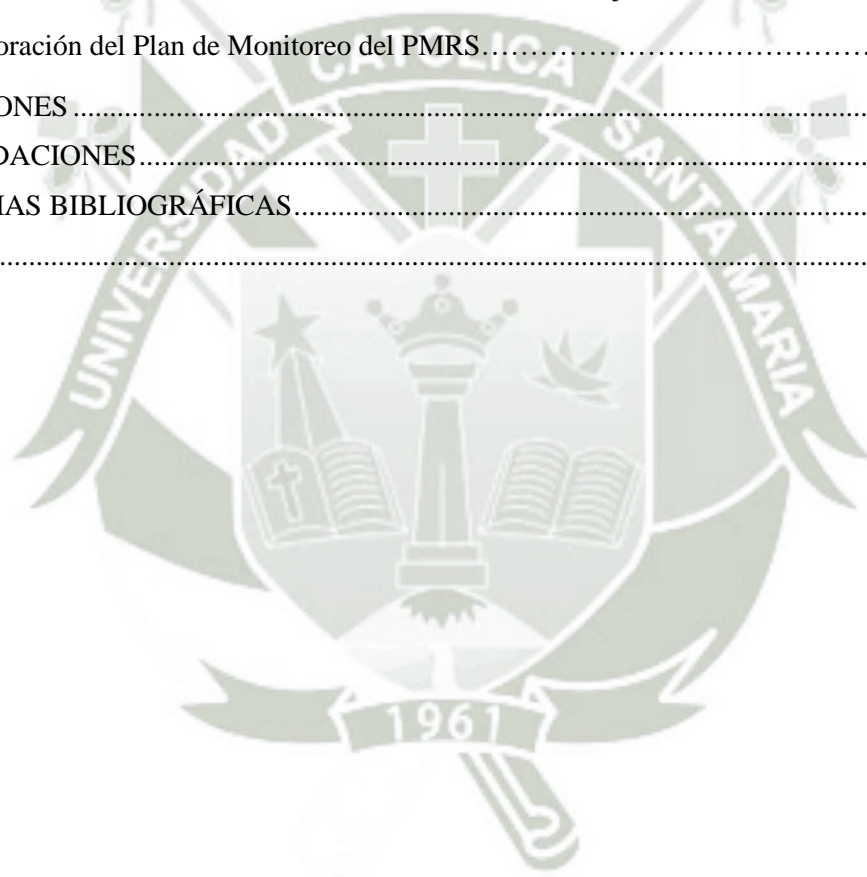
David Attenborough

Índice General

Dedicatoria.....	i
Agradecimientos	ii
Índice General.....	iii
Índice de Tablas	vi
Índice de Figuras.....	vii
Índice de Ecuaciones.....	viii
Índice de Anexos.....	ix
Resumen.....	x
Abstract.....	xi
Lista de Símbolos.....	xii
Capítulo I: GENERALIDADES	1
1.1. Planteamiento del problema.....	1
1.2. Justificación	2
1.3. Objetivos	3
1.3.1. Objetivo General.....	3
1.3.2. Objetivos Específicos.....	3
1.4. Hipótesis	4
1.5. Variables Operacionales	4
1.6. Alcance de la investigación.....	5
1.7. Limitaciones de la investigación.....	5
Capítulo II: MARCO TEÓRICO	6
2.1. Historia del Mercado Mayorista Metropolitano de Río Seco	6
2.2. Problemática ambiental de los mercados mayoristas.....	7
2.2. Residuos Sólidos.....	8
2.3. Plan de Manejo de Residuos Sólidos	8
2.4. Manejo de Residuos Sólidos.....	11
2.5. Fundamentos de la Digestión Anaeróbica.....	15
2.5.1. Factores determinantes de la digestión anaeróbica	17
2.5.2. Biodigestores.....	20
2.5.3. Dimensionamiento del Biodigestor.....	22
2.5.4. Importancia de la digestión anaeróbica.....	24
2.6. Marco legal	24
Capítulo III: DISEÑO EXPERIMENTAL DE LA INVESTIGACIÓN.....	26
3.1. CAMPO DE VERIFICACIÓN	26
3.1.1. Ubicación espacial	26

3.1.2. Unidades de estudio	26
3.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	27
3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	27
3.3.1. Población.....	27
3.3.2. Muestra	27
3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS	27
3.4.1. Técnicas	27
3.4.2. Instrumentos.....	27
3.5. MATERIALES	28
a) Material de estudio.....	28
b) Materiales y equipos de campo	28
c) Material y equipos de laboratorio	28
d) Otros materiales	29
e) Software	29
3.6. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	29
A. Determinación de la generación diaria de residuos sólidos del MMM - Río Seco.....	29
B. Determinación de la composición de los residuos sólidos generados del MMM – Río Seco....	31
C. Obtención y caracterización de los residuos sólidos vegetales.....	32
D. Determinación de los parámetros de operación de un biodigestor anaeróbico a escala laboratorio.....	33
E. Almacenamiento y determinación porcentual de biometano en el biogás generado durante la digestión anaeróbica.....	35
F. Determinación del tipo de recolección selectiva.....	35
G. Equipamiento para la segregación de la fuente y recolección selectiva de residuos sólidos y distribución de los dispositivos de almacenamiento.....	36
H. Determinación del diseño de rutas del sistema.....	36
I. Diseño y dimensionamiento del sistema de tratamiento anaeróbico.....	37
J. Diseño de la planta de tratamiento.....	38
K. Definición del alcance del Plan de Manejo de Residuos Sólidos.....	38
L. Establecimiento los objetivos y metas del Plan de Manejo de Residuos Sólidos.....	38
M. Elaboración de la matriz de actividades del Plan de Manejo de Residuos Sólidos.....	39
N. Elaboración del Plan de Monitoreo del PMRS.....	39
Capítulo IV: RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	40
4.1. Determinación de la generación total diaria de residuos sólidos del MMM - Río Seco.....	40
4.2. Determinación de la composición de los residuos sólidos generados del MMM-Río Seco.....	42
4.3. Obtención y caracterización de los residuos sólidos vegetales.....	43
4.4. Determinación de los parámetros de operación del biodigestor anaeróbico a escala laboratorio...	45

4.5. Almacenamiento y determinación porcentual de biometano en el biogás generado durante la digestión anaeróbica.....	48
*Sin datos de composición de biogás; **promedio de dos medidas o ensayos de determinación de composición gaseosa en el biogás generado en cada botella.	50
4.6. Determinación del tipo de recolección selectiva.....	50
4.7. Equipamiento para la segregación en la fuente y recolección selectiva de residuos sólidos y distribución de los dispositivos de almacenamiento.	52
4.8. Determinación del diseño de rutas del sistema.	55
4.9. Diseño y dimensionamiento del sistema de tratamiento anaeróbico.....	58
4.10. Diseño de la planta de tratamiento.	59
4.11. Definición del alcance del Plan de Manejo de Residuos Sólidos.	62
4.12. Establecimiento los objetivos y metas del Plan de Manejo de Residuos Sólidos.	63
4.13. Elaboración de la matriz de actividades del Plan de Manejo de Residuos Sólidos	64
4.14. Elaboración del Plan de Monitoreo del PMRS.....	65
CONCLUSIONES	67
RECOMENDACIONES.....	69
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	70
ANEXOS	74



Índice de Tablas

Tabla N° 1: Cuadro de variables e indicadores.....	4
Tabla N° 2: Tipo de recolección selectiva.....	14
Tabla N° 3: Intervalos de temperatura en el que trabajan las bacterias anaeróbicas.....	19
Tabla N° 4: Tiempo de retención según la temperatura.....	19
Tabla N° 5: Marco legal de gestión de residuos sólidos.....	24
Tabla N° 6: Distribución de muestras por rubro.....	41
Tabla N° 7: Composición física de los residuos sólidos del mercado.....	42
Tabla N° 8: Humedad, ST, SV y densidad de los residuos sólidos vegetales.....	43
Tabla N° 9: Relación de carbono y nitrógeno de los residuos sólidos vegetales.....	44
Tabla N° 10: Condiciones de operación del biodigestor de laboratorio que mostró máxima producción de biogas.....	47
Tabla N° 11: Composición del biogás.....	50
Tabla N° 12: Cuadro comparativo de los tipos de recolección selectiva.....	51
Tabla N° 13: Competencias de los actores involucrados.....	52
Tabla N° 14: Cuadro comparativo de los dispositivos de almacenamiento.....	53
Tabla N° 15: Listado de equipos de protección personal.....	54
Tabla N° 16: Frecuencia y horario de recolección selectiva de los residuos sólidos.....	57
Tabla N° 17: Características geométricas del sistema de biodigestión.....	58
Tabla N° 18: Componentes del sistema de biodigestión.....	58
Tabla N° 19: Características principales de la zona.....	60
Tabla N° 20: Cuadro resumen de objetivo general, objetivos específicos, metas e indicadores.....	63
Tabla N° 21: Estimado del Presupuesto (Dic 2017) demandado por el PMRS discriminado por ítems y actividades.....	66
Tabla N° 22: Generación total de residuos sólidos.....	77
Tabla N° 23: Generación per-puesto.....	77
Tabla N° 24: Datos experimentales de densidad aparente in situ.....	78
Tabla N° 25: Datos experimentales de humedad.....	79
Tabla N° 26: Datos experimentales de sólidos totales.....	79
Tabla N° 27: Datos experimentales de sólidos volátiles.....	79
Tabla N° 28: Datos experimentales de densidad aparente en laboratorio.....	79
Tabla N° 29: Datos experimentales de la relación C/N de los residuos sólidos vegetales.....	79
Tabla N° 30: Relaciones de mezcla de los biorreactores.....	80
Tabla N° 31: Relación de carbono y nitrógeno del estiércol vacuno.....	80
Tabla N° 32: Relación de carbono y nitrógeno de la mezcla estiércol vacuno y los residuos sólidos vegetales.....	80

Índice de Figuras

Figura N° 1: Ubicación geográfica del MMM - Río Seco.	7
Figura N° 2: Tipo de residuos sólidos a considerar en el PMRS.	9
Figura N° 3: Sistema de Monitoreo del PMRS.	11
Figura N° 4: Etapas de la digestión anaeróbica.	16
Figura N° 5: Biodigestor con cúpula flotante	21
Figura N° 6: Biodigestor con cúpula fija.	21
Figura N° 7: Biodigestor tubular.	22
Figura N° 8: Esquema del balde para hallar densidad (in situ).	31
Figura N° 9: Método del cuarteo modificado.	31
Figura N° 10: Esquema de los biorreactores de laboratorio usados para la digestión anaeróbica de los residuos sólidos vegetales obtenidos de métodos anteriores.	34
Figura N° 11: Generación total por rubro.	41
Figura N° 12: Composición física de los residuos sólidos.	43
Figura N° 13: Determinación de humedad y sólidos totales.	44
Figura N° 14: Determinación de sólidos volátiles.	44
Figura N° 15: Determinación de materia orgánica.	45
Figura N° 16: Determinación de densidad aparente en laboratorio.	45
Figura N° 17: Biorreactores a TRH 20 días.	46
Figura N° 18: Almacenamiento de biogás en bolsas de diuresis.	48
Figura N° 19: Volúmenes de biogás generados en la digestión anaeróbica.	49
Figura N° 20: Analizador de gases <i>Sewerin Mulitec 540</i> usado para la determinación porcentual de biometano en el biogás generado.	49
Figura N° 21: Vehículo bicompartimentado para la recolección.	54
Figura N° 22: Ruta de traslado.	55
Figura N° 23: Ruta de recolección.	56
Figura N° 24: Ruta de transporte.	57
Figura N° 25: Vista transversal del biodigestor en 3D.	59
Figura N° 26: Vista frontal del biodigestor en 3D.	59
Figura N° 27: Localización de la planta de segregación y tratamiento.	60
Figura N° 28: Spread –sheet en hoja Excel 2013.	81
Figura N° 29: Caracterización de residuos vegetales.	86
Figura N° 30: Preparación de mezcla	87
Figura N° 31: Subproductos de la digestión anaeróbica.	88

Índice de Ecuaciones

Ec. N° 1: Tamaño de muestra	12
Ec. N° 2: Generación por puesto	12
Ec. N° 3: Generación total de residuos en mercado	12
Ec. N° 4: Densidad aparente	13
Ec. N° 5: Humedad.....	13
Ec. N° 6: Sólidos totales.....	17
Ec. N° 7: Sólidos volátiles.....	17
Ec. N° 8: Materia orgánica	18
Ec. N° 9: Carbono orgánico	18
Ec. N° 10: Relación de carbono / nitrógeno	18
Ec. N° 11: Relación de carbono / nitrógeno de la mezcla.....	19
Ec. N° 12: Carga diaria	22
Ec. N° 13: Volumen del biodigestor	23
Ec. N° 14: Área del biodigestor	23
Ec. N° 15: Área real del biodigestor.....	23



Índice de Anexos

Anexo N° 01: Permisos	74
Anexo N° 02: Cálculo de la muestra	76
Anexo N° 03: Generación de residuos del mercado.....	77
Anexo N° 04: Datos experimentales de los parámetros de los residuos sólidos vegetales	79
Anexo. N° 05: Datos experimentales de los biorreactores	80
Anexo N° 06: Dimensionamiento del biodigestor	81
Anexo N° 07: Distribución de la planta de segregación y tratamiento	82
Anexo N° 08: Distribución de contenedores	84
Anexo N° 09: Galería Fotográfica.....	86



Resumen

La presente investigación consistió en evaluar experimentalmente el tratamiento anaeróbico y elaborar el plan de manejo de los residuos sólidos del Mercado Mayorista Metropolitano de Río Seco (MMM- Río Seco), ubicado en el distrito de Cerro Colorado, donde se presenta una situación ambiental bastante preocupante a causa de que no se realiza correctamente el manejo integral de estos residuos.

Se realizó la caracterización de residuos sólidos del mercado estudiado, para así conocer el volumen de residuos sólidos vegetales, los cuales constituyen más del 80% del volumen total de residuos generados, por tal motivo fue primordial buscar una solución integral que contribuya al manejo adecuado y así minimizar un gran número de impactos ambientales negativos; es por ello que se propuso el tratamiento anaeróbico de dichos residuos, realizando el montaje de biorreactores que permitieron establecer los parámetros de operación para el dimensionamiento del biodigestor anaeróbico y se planteó el programa de segregación en la fuente y recolección selectiva para el MMM- Río Seco. Posteriormente, se propuso el diseño preliminar de la planta de tratamiento. Y, por último, se propone el plan de manejo de los residuos sólidos del mercado.

Por lo tanto, esta investigación es de tipo aplicada y longitudinal ya que pretende brindar una alternativa sustentable para el manejo adecuado de los residuos sólidos, incluyendo el tratamiento de residuos sólidos vegetales a través de la digestión anaeróbica que permitirá obtener biogás y biofertilizante (biol y biosol).

Palabras Claves: Plan de manejo, residuos sólidos vegetales, segregación, digestión anaeróbica, tratamiento, biodigestor, biogás.

Abstract

The present investigation consisted of experimentally evaluating the anaerobic treatment and elaborating the solid waste management plan of the Metropolitan Wholesale Market of Río Seco (MMM- Río Seco), located in the district of Cerro Colorado, where a quite worrying environmental situation is presented because the integral management of this waste is not carried out correctly.

The solid waste characterization of the studied market was carried out, in order to know the volume of solid vegetable waste, which constitutes more than 80% of the total volume of waste generated, for this reason it was essential to look for an integral solution that contributes to the adequate management and thus minimize a large number of negative environmental impacts; that is why the anaerobic treatment of said wastes was proposed, making the assembly of bioreactors that allowed to establish the operating parameters for the sizing of the anaerobic biodigester and the segregation program was proposed at the source and selective collection for the MMM- Río Seco . Subsequently, the preliminary design of the treatment plant was proposed. And finally, the solid waste management plan of the market is proposed.

Therefore, this research is of the applied and longitudinal type since it aims to provide a sustainable alternative for the proper management of solid waste, including the treatment of solid vegetable waste through anaerobic digestion that will allow obtaining biogas and biofertilizer (biol and biosol)

Key words: Management plan, vegetable solid waste, segregation, anaerobic digestion, treatment, biodigester, biogas, biomethane.

Lista de Símbolos

A	Área en m ²
H	Altura
h	Altura libre de residuos sólidos
AR	Área real en m ²
K	C/N de la mezcla de materias primas
CO	Cantidad de carga orgánica utilizable.
C	Carbono
CD	Carga diaria en m ³ /día.
ρ	Densidad aparente
σ	Desviación estándar
D	Diámetro
E	Error permisible
EC-RSM	Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos Municipales
F _s	Factor de seguridad
CH ₄	Gas metano
GEI	Gases de Efecto Invernadero
GPC	Generación Per Cápita
GPP	Generación por puesto
GT	Generación total diaria
H	Humedad
MO	Materia orgánica
MMM – Río Seco	Mercado Mayorista Metropolitano de Río Seco
N	Nitrógeno
N _c	Número de contenedores
N _p	Número de puestos
$Z_{1-\alpha/2}$	Nivel de confianza
W	Peso de los residuos sólidos
Q	Peso fresco de cada materia
PMRS	Plan de Manejo de Residuos Sólidos
PEBD	Polietileno de baja densidad
POR	Proporción de residuos sólidos vegetales
Relación C/N	Relación carbono / nitrógeno
RM	Relación de mezcla
RR. SS	Residuos sólidos
RSV	Residuos sólidos vegetales
ST	Sólidos totales
SV	Sólidos volátiles
TRH	Tiempo de retención hidráulico
V	Volumen
VBG	Volumen de biogás generado
V _c	Volumen de contenedores

Capítulo I:

GENERALIDADES

1.1. Planteamiento del problema

Los residuos sólidos constituyen un problema ambiental en el mundo moderno debido al aumento de la población y del consumismo. En algunas ciudades, los residuos sólidos como los generados en centros de abastos, supermercados y de uso doméstico, son descargados indiscriminadamente en las calles de la ciudad causando el deterioro del ambiente (Chhotu D. Jadia and M. H. Fulekar, 2008), debido a que estos residuos generalmente contienen altos niveles de materia orgánica, humedad y nutrientes hacen que estos no sean aptos para su eliminación en botaderos municipales (Sudharsan Varma, V. & Kalamdhad., 2015). Además, la descomposición de residuos orgánicos genera gases de efecto invernadero, como el dióxido de carbono y el metano, contribuyendo así al cambio climático; esto se evidenció el 2012 donde las emisiones anuales netas de metano generados por la disposición de residuos sólidos en el Distrito de Cerro Colorado fueron de 2.10 Gg de CH₄ (Giga gramos de metano) (Ministerio del Ambiente, 2016).

El Mercado Mayorista Metropolitano de Río Seco (MMM – Río Seco) es uno de los más grandes de Arequipa, ya que aporta enormemente a la generación de residuos sólidos; además,

no cuenta con un estudio de caracterización ni programa de segregación en la fuente para sus residuos sólidos (Calla, 2017) como la mayoría de centros de abastos de nuestra ciudad. El problema se magnifica debido a que estos residuos son enviados a botaderos, y en el caso del MMM – Río Seco, la Municipalidad Distrital de Cerro Colorado transporta sus residuos hacia el Botadero Controlado de Quebrada Honda.

Incluso en este tipo de botaderos, los microorganismos bacterianos descomponen los residuos orgánicos generando lixiviados resultantes de la descomposición aeróbica y anaeróbica, que pueden infiltrarse y contaminar aguas subterráneas (Clean up the world, 2008).

Asimismo, se puede observar que este mercado no cumple con el “Artículo 41º.- Eliminación de residuos sólidos” del Reglamento Sanitario de Funcionamiento de Mercados de Abasto (R. M. N° 282-2003-SA/DM, 2003), ya que no realiza un manejo adecuado de sus residuos sólidos y tampoco garantiza condiciones óptimas de salubridad, generando la proliferación de roedores e insectos, asociados a la propagación de enfermedades y epidemias. Y, por último, se da un impacto estético negativo en el paisaje, lo que afecta no sólo a la gente que vive en la zona, sino también la plusvalía socio-económica del distrito (Kiss Köfalus, G.; Encarnación, G., 2006).

Este problema seguirá latente debido al poco interés de los gobiernos locales y regionales; y a la falta de educación y motivación ambiental de los comerciantes y consumidores.

1.2. Justificación

Este trabajo se justifica y complementa con las políticas nacionales ambientales, como es el caso del Plan Nacional de Acción Ambiental Perú 2011-2021 que propone en su “Meta 2: Residuos Sólidos”, acciones estratégicas para asegurar el tratamiento y disposición final adecuada de los residuos del ámbito municipal teniendo como meta para el 2021 que el 100% de sus residuos sólidos sean manejados, reaprovechados y dispuestos adecuadamente. (Ministerio del Ambiente, 2011).

Por otro lado, se busca fomentar las tecnologías limpias de origen biológico como es el tratamiento anaeróbico y la aplicación de esta propuesta ya que permitiría disminuir los impactos ambientales negativos provocados por la actividad comercial en el MMM – Río Seco. Además, con el manejo adecuado de los residuos sólidos mejoraría la calidad de vida y sanitaria de los comerciantes y consumidores del MMM – Río Seco.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Evaluar experimentalmente el tratamiento anaeróbico y gestionar ambientalmente un plan de manejo a la producción masiva de residuos sólidos generados en el Mercado Mayorista Metropolitano Río Seco (MMM – Río Seco) en Cerro Colorado, Arequipa.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Cuantificar la generación total diaria de residuos sólidos generados en el MMM – Río Seco y caracterizar su composición en residuos sólidos vegetales (RSV).
- Determinar experimentalmente los parámetros de operación de un biodigestor anaeróbico para el tratamiento de residuos sólidos vegetales con capacidad de producción de biogás a escala laboratorio.
- Proponer un Programa de Segregación en la Fuente y Recolección Selectiva de Residuos Sólidos Vegetales en el MMM – Río Seco que permita garantizar permanentemente su suministro a un sistema de tratamiento anaeróbico.
- Diseñar un sistema de tratamiento anaeróbico de residuos sólidos vegetales segregados provenientes del MMM – Río Seco para su aprovechamiento en la generación de biogás.
- Elaborar un Plan de Manejo de Residuos Sólidos como aporte técnico sanitario y ambiental que permita la implementación en el acondicionamiento, almacenamiento, recolección, transporte, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos generados en el MMM – Río Seco.

1.4. Hipótesis

Dado que una segregación física contribuye a un manejo selectivo de residuos sólidos generados en megacentros de abastos urbanos y que estos contienen altas proporciones de componentes orgánicos fermentescibles y que la digestión anaeróbica puede transformar la materia orgánica en biogás en forma limpia, es probable que una evaluación experimental y una posterior gestión sanitaria y ambiental de la producción masiva de residuos sólidos generados en el MMM – Río Seco permita proponer un Programa de Segregación en la Fuente y Recolección Selectiva y un Plan de Manejo de Residuos Sólidos que garanticen la factibilidad de un sistema de tratamiento anaeróbico de residuos sólidos vegetales segregados provenientes del MMM – Río Seco para su correcto manejo y su aprovechamiento en la generación de biogás.

1.5. Variables Operacionales.

Tabla N° 1: Cuadro de variables e indicadores.

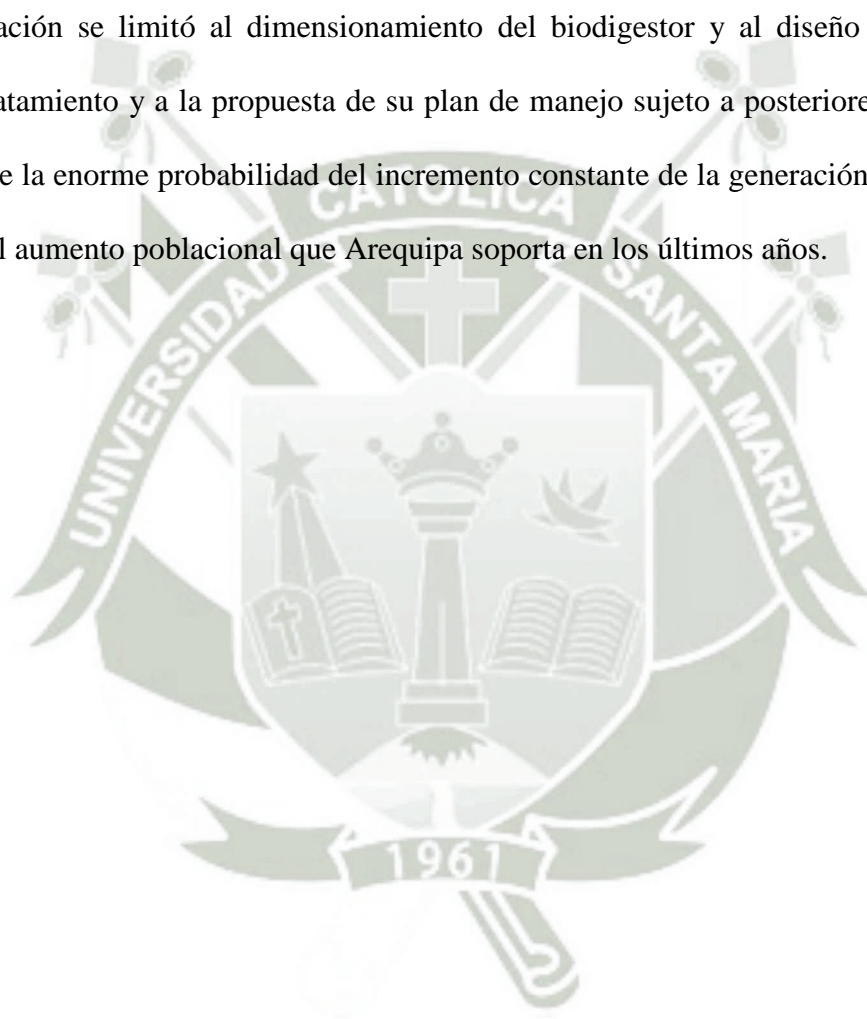
	Variab les	Indicadores
Independientes	Rubros de actividad comercial generadores de RR. SS.	Frutas Abarrotes Restaurantes Verduras
	Puestos de expendio por actividad comercial	Np
	Generación total diaria de residuos sólidos	GT, Kg
	Tiempo de retención	TRH, días
	Relación de mezcla Sustrato: Agua	RM
	Dependientes	Generación diaria de residuos sólidos per- puesto
Proporción de residuos sólidos vegetales		POR, %
Número de contenedores		Nc
Volumen de contenedores		Vc, m ³
Volumen de biogás generado		VBG, m ³
Porcentaje de biometano en el biogás		%

1.6. Alcance de la investigación

Se realizó el ensayo de digestión anaeróbica a escala laboratorio para demostrar la producción de biogás a partir de los residuos sólidos vegetales y se presenta el diseño de la planta de tratamiento de dichos residuos. Además, como resultado final se propone un plan de manejo de los residuos sólidos generados en el MMM – Río Seco.

1.7. Limitaciones de la investigación

La investigación se limitó al dimensionamiento del biodigestor y al diseño preliminar de la planta de tratamiento y a la propuesta de su plan de manejo sujeto a posteriores modificaciones ya que existe la enorme probabilidad del incremento constante de la generación de RR. SS. en la fuente por el aumento poblacional que Arequipa soporta en los últimos años.



Capítulo II: MARCO TEÓRICO

Este capítulo presenta una revisión de las bases teóricas y fundamentales que abarcan la problemática ambiental de los mercados mayoristas que permitirá comprender la realidad que afronta el MMM – Río Seco; además, se presenta información sobre la formulación del PMRS, caracterización y segregación de residuos sólidos y se explica como la digestión anaeróbica puede ser el tratamiento adecuado para los residuos sólidos vegetales. Finalmente, se hace un resumen sobre el marco legal que rige a la gestión de residuos sólidos.

2.1. Historia del Mercado Mayorista Metropolitano de Río Seco

El MMM – Río Seco se encuentra ubicado en el Distrito de Cerro Colorado en la Vía Yura Km. 8.5 Pueblo Joven Río Seco. Fue fundado en el año 2007 y privatizado en el 2012 debido al desorden que existía en el mercado por la mala administración que realizaba la Municipalidad Provincial de Arequipa, es así que se hizo la tasación para la venta de los puestos de expendio con el fin de que cada comerciante invierta y mejore su puesto.

El área aproximada del mercado es de 32 281 m², que cuenta con 310 puestos, de los cuales 219 se encuentran en funcionamiento. Actualmente, el principal rubro del mercado es de frutas (76%), asimismo cuenta con los rubros de abarrotes (16%), restaurantes (4%) y verduras (4%).

En la Figura N°1, se muestra la ubicación geográfica del MMM - Río Seco:



Figura N° 1: Ubicación geográfica del MMM - Río Seco. (Google Earth, 2017)

2.2. Problemática ambiental de los mercados mayoristas

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, los mercados mayoristas son estructuras físicas en las que se realizan intercambios comerciales entre agentes, reunidos con el objetivo de comprar y vender productos alimentarios frescos y transformados (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2010).

Cabe resaltar que los residuos sólidos generados en los mercados mayoristas son en su gran mayoría de origen orgánico, lo que permitiría realizar tratamientos de aprovechamiento de dichos residuos (Hermida, H. ; Arrieta, G., 2014); sin embargo, en el Perú el mayor porcentaje de residuos orgánicos tienen como disposición final los botaderos y/o rellenos sanitarios.

En Arequipa, no se han llevado a cabo estudios sobre el manejo de residuos sólidos en mercados mayoristas, a pesar de ser de gran importancia presentar un sistema segregación, recolección y aprovechamiento de residuos sólidos vegetales, ya que el manejo inadecuado produce la proliferación de roedores y vectores (moscas, cucarachas, ratas, etc.) que pueden ocasionar daño a la salud y al ambiente (Instituto Nacional de Salud , 2016).

2.2. 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, para ser manejados a través de un sistema (Ley N° 27314, 2000).

La clasificación de residuos sólidos se ejecuta según la anterior ley, pueden clasificarse según la autoridad pública competente de su gestión: en *residuos de ámbito municipal*, que son generados en domicilios, comercios y en otras actividades que generen residuos similares a éstos; y en *residuos de ámbito no municipal*, que son generados en los procesos o actividades no comprendidos en el ámbito de gestión municipal (Ley N° 27314, 2000).

Asimismo, por su naturaleza pueden ser: *orgánicos*, que son los residuos de origen biológico (vegetal o animal), que se descomponen naturalmente, generando gases (dióxido de carbono y metano, entre otros) y lixiviados en los lugares de tratamiento y disposición final; y, en *inorgánicos*, que se denomina a los residuos de origen mineral o producidos industrialmente que no se degradan con facilidad (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental, 2014).

2.3. Plan de Manejo de Residuos Sólidos

El Plan de Manejo de Residuos Sólidos (PMRS) es un instrumento de gestión que surge de un proceso coordinado y concertado entre autoridades y funcionarios municipales, representantes de instituciones locales, públicas y privadas, promoviendo una adecuada gestión y manejo de los

residuos sólidos, asegurando eficacia, eficiencia y sostenibilidad, desde su generación hasta su disposición final, incluyendo procesos de minimización: reducción, reutilización y reciclaje de residuos sólidos en donde se incluya a recicladores formalizados (Ministerio del Ambiente, 2015). Según MINAM (2015) para la formulación del PMRS, se siguen las siguientes etapas:

La primera etapa consiste en definir el alcance del PMRS, para ello se identifica el área geográfica y el periodo de planeamiento. El área geográfica comprende la zona que será intervenida; el período de planeamiento es el tiempo que debe permitir proyectar inversiones en infraestructura básica, como plantas de tratamiento, y evaluar la inversión en equipamiento de barrido, recolección y tratamiento de residuos sólidos.

Las acciones que se proponen en el plan de manejo contemplan tres etapas: etapa de corto plazo (0 a 2 años), etapa de mediano plazo (3 a 5 años) y etapa de largo plazo (de 5 a más años). Cada etapa se transforma en directrices cuyas estrategias y planes de operativización se irán ajustando conforme se alcancen los resultados previstos y el escenario local, regional y nacional vaya cambiando.

Asimismo, se selecciona los tipos de residuos que debe considerar el PMRS (Figura N°2). Las Municipalidades Distritales deben atender los residuos sólidos de origen domiciliario, comercial y de aquellas actividades que generen residuos similares a estos, en todo el ámbito de su jurisdicción. El plan de manejo también debe considerar, que sucederá con los residuos no municipales, para que se establezcan las coordinaciones con las entidades encargadas de los residuos hospitalarios, residuos industriales, residuos de construcción, entre otros.



Figura N° 2: Tipo de residuos sólidos a considerar en el PMRS. (Ministerio del Ambiente, 2015)

La segunda etapa establece los objetivos y metas del PMRS. El objetivo se elabora para resolver los problemas detectados y los objetivos específicos del plan de manejo están directamente relacionados a las necesidades de inversión y requerimiento de recursos para asegurar la calidad y cobertura esperada en el sistema de gestión de residuos sólidos en diferentes escenarios. Por otro lado, las metas corresponden directamente a los objetivos y se formulan de tal modo que se puedan medir en tiempo (cuándo), cantidad (cuánto), calidad (cuán bueno) y/o lugar (dónde).

La siguiente etapa consta de identificar y evaluar las líneas de acción a corto, mediano y largo plazo, éstas son diferentes opciones que deben lograr los objetivos planteados; y se proponen los siguientes componentes para cada línea de acción de la gestión integral de los residuos sólidos:

- a. Gestión participativa de los servicios de limpieza pública.
- b. Promover la participación de los agentes generadores de residuos sólidos.
- c. Sobre el uso de tecnologías de manejo de residuos sólidos.
- d. Coordinación inter e intrainstitucional para una intervención integral y sostenida.
- e. Mejorar las capacidades de gerencia de la Municipalidad.
- f. Fomentar la inversión privada.
- g. El uso de los medios de comunicación.

Para cada componente se plantean actividades prioritarias, resumidas en una matriz de actividades del PMRS.

Por último, se elabora el Plan de Monitoreo del PMRS que debe tener en cuenta cómo funcionará el sistema, debiendo incluir indicadores que midan el avance en la implementación y ejecución del PMRS. En la Figura N°3, se presenta el sistema de monitoreo:

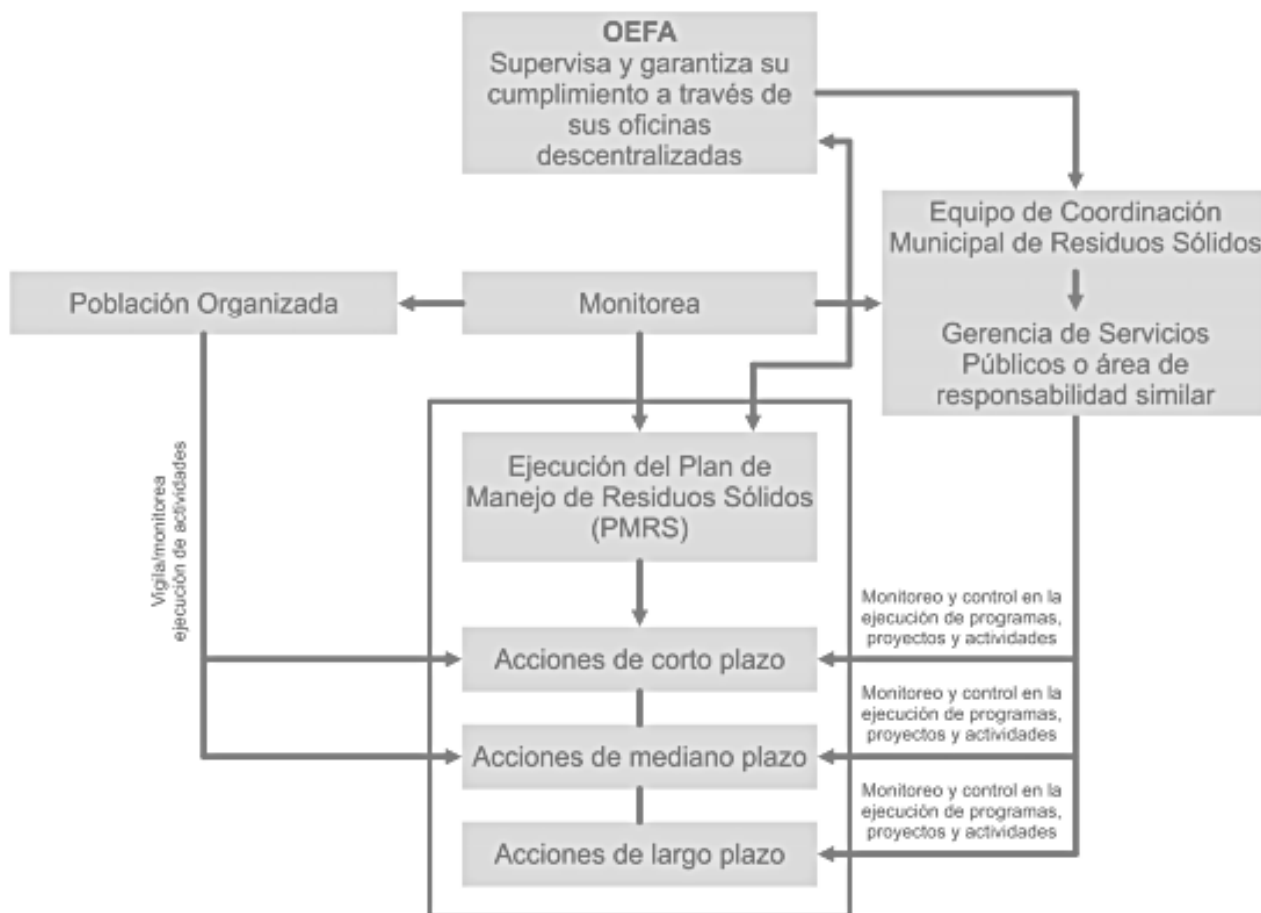


Figura N° 3: Sistema de Monitoreo del PMRS. (Ministerio del Ambiente, 2015)

2.4. Manejo de Residuos Sólidos

Según la Ley N° 27314 - Ley General de Residuos Sólidos, el manejo de los residuos sólidos es toda actividad técnica operativa de residuos sólidos que involucre manipuleo, acondicionamiento, transporte, transferencia, tratamiento, disposición final o cualquier otro procedimiento técnico operativo utilizado desde la generación hasta la disposición final (Ley N° 27314, 2000).

La primera etapa consiste en determinar la generación, que es el momento en el cual se producen los residuos como resultado de la actividad humana (Organismo de Evaluación y Fiscalización

Ambiental, 2014). Para estimar este valor, se realiza un estudio de caracterización de residuos sólidos, cuyo protocolo está determinado por la Guía Metodológica para el desarrollo del Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos Municipales (EC-RSM) (Ministerio del Ambiente, 2015). Esto permite obtener información sobre las características de los residuos sólidos como: cantidad de los residuos, densidad, composición y humedad. Para calcular el tamaño de muestra se utiliza la ecuación N°1 y la distribución de la muestra se hace en función al número de puestos de trabajo (Ministerio del Ambiente, 2015).

$$n = \frac{Z_{1-\alpha/2}^2 N \sigma^2}{(N-1)E^2 + Z_{1-\alpha/2}^2 \sigma^2} \quad (1)$$

Dónde:

n= Muestras de los puestos del mercado.

N= Total de puestos.

$Z_{1-\alpha/2}$ = Nivel de confianza.

σ = Desviación estándar.

E = Error permisible.

Para ejecutar la caracterización de residuos sólidos se debe comunicar, invitar e informar a los participantes los objetivos y la metodología a seguir para su realización, seguidamente se entrega bolsas para recolectar sus residuos y transportar las muestras de estudio. Los principales parámetros a determinar en el estudio de caracterización son:

a. Generación por puesto (GPP): Para el cálculo de la generación en puestos de mercado se aplica la siguiente ecuación: (Municipalidad Provincial de Arequipa, 2015)

$$GPP = \frac{\text{Día 1} + \text{Día 2} + \text{Día 3} + \text{Día 4} + \text{Día 5} + \text{Día 6} + \text{Día 7}}{7 \text{ días}} \quad (2)$$

Dónde: GPP= Generación por puesto (kg/puesto/día)

Posteriormente, se multiplica la GPP por el total de puestos en el mercado (diferentes rubros), utilizando la siguiente ecuación: (Municipalidad Provincial de Arequipa, 2015)

$$GT = GPP \times \text{Total de puestos} \quad (3)$$

b. Densidad aparente (ρ): Se define como la razón entre la masa de una sustancia y su volumen. Su unidad de medida en el S.I es de Kg/m^3 (Soldoviere, 2017). Se determina este parámetro siguiendo el protocolo de la Guía Metodológica para el desarrollo del Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos Municipales (Ministerio del Ambiente, 2015). El cálculo de la densidad se realiza en gabinete usando la siguiente ecuación:

$$S = \frac{w}{v} = \frac{w}{\pi\left(\frac{D^2}{4}\right) \cdot (H-h)} \quad (4)$$

Dónde:

S: Densidad de los residuos sólidos.

W: Peso de los residuos sólidos.

V: Volumen del residuo sólido.

D: Diámetro del cilindro.

H: Altura total del cilindro.

h: Altura libre de residuos sólidos.

c. Composición: Permite conocer qué componentes tienen los residuos sólidos. La Guía Metodológica para el desarrollo del Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos Municipales recomienda utilizar el método del cuarteo para determinar la composición (Ministerio del Ambiente, 2015).

d. Humedad (H): Es la cantidad de materia acuosa, generalmente concedida de los residuos orgánicos (Ministerio del Ambiente, 2015). Para su cálculo se aplica la siguiente ecuación: (Sadzawka, A.; Carrasco, M.; Grez, R. y Mora M., 2005)

$$\text{Humedad (\%)} = \frac{a-b}{a} \times 100 \quad (5)$$

Dónde:

Humedad = contenido de agua en base muestra húmeda

a = Masa (gr) de la muestra húmeda.

b = Masa (gr) de la muestra seca a 70 ± 5 °C.

La siguiente etapa es la segregación en la fuente que consiste en agrupar determinados tipos de residuos sólidos con características físicas similares para facilitar el aprovechamiento, tratamiento o comercialización de los residuos (D.S. N° 057-2004-PCM, 2004). Este sistema de segregación incluye la recolección y el transporte de residuos sólidos, su formulación se basa en la Guía Metodológica para implementar un Programa de Segregación en la Fuente y Recolección

Selectiva de Residuos Sólidos Municipales, considerando los criterios técnicos que se detallan a continuación: (Ministerio del Ambiente, 2015)

- a. Tipo de recolección dentro de la implementación del programa:** Las posibles alternativas para el tipo de recolección deben usar un medio de locomoción apropiado para luego continuar con su posterior manejo. Dentro de los tipos de recolección selectiva tenemos:

Tabla N° 2: Tipo de recolección selectiva.

TIPO DE RECOLECCIÓN SELECTIVA	DESCRIPCIÓN
Administración Directa (Municipalidad)	La Municipalidad implementa un plan de segregación en la fuente y recolección selectiva como parte de los servicios prestados por su área de limpieza pública, medio ambiente, servicios públicos o su equivalente.
Asociación de Recicladores Formalizados	La Municipalidad establece que la recolección selectiva se realice a través de recicladores formalizados.
MIXTO (Administración Directa y Asociación de Recicladores Formalizados)	La Municipalidad establece el programa de recolección selectiva se desarrolla en conjunto con los recicladores formalizados.
Empresa Comercializadora de Residuos Sólidos – EC-RS	La Municipalidad contrata una EC-RS para el programa de recolección selectiva.

Fuente: (Ministerio del Ambiente, 2015)

- b. Tipos de dispositivos de almacenamiento:** Se determina que dispositivos y/o herramientas son adecuados para el almacenamiento de los residuos sólidos entre ellos tenemos: tachos, costal, bolsa negra o de color, cinta (Ministerio del Ambiente, 2015).
- c. Diseño de rutas:** Asignar frecuencia y horario de recolección y establecer el diseño de la ruta según la distribución de los puestos (Ministerio del Ambiente, 2015). Se debe tener en cuenta tres tipos de rutas:
- **Ruta de traslado:** Es la que recorre el vehículo desde que sale del centro de acopio o zona donde se guardan los vehículos, hasta que llega a la zona, inicio de ruta de recolección.
 - **Ruta de recolección:** Es la que recorre el vehículo realizando la recolección de los residuos segregados por los puestos.

En cuanto a las rutas de recolección, existen por lo menos dos tipos:

- **Peine:** recolección por ambos lados de la vía a la misma hora; se recorre solamente una vez por cada vía.
- **Doble peine:** recolección de un lado de la vía; se recorre por lo menos dos veces por cada vía (Sakurai, 1980).

- **Ruta de transporte:** Es la que recorre el vehículo terminada la recolección o cuando el vehículo ya se encuentra lleno, desplazándose hacia el centro de acopio.

La transferencia de residuos sólidos se realiza en una instalación o infraestructura en la cual se descargan y almacenan temporalmente los residuos de las unidades de recolección para, luego, continuar con su tratamiento (D.S. N° 057-2004-PCM, 2004).

El tratamiento consiste en cualquier método o técnica que tiene por objeto modificar las características físicas, químicas o biológicas de los residuos sólidos, reduciendo o eliminando su potencial peligro de causar daños a la salud y el ambiente (Ley N° 27314, 2000). Por lo tanto, se propone la digestión anaeróbica como tratamiento para los residuos sólidos vegetales.

2.5. Fundamentos de la Digestión Anaeróbica

La digestión anaerobia es una fermentación microbiana en ausencia de oxígeno que da lugar a una mezcla de gases, principalmente metano (50 a 70 %) y dióxido de carbono (30 a 50 %) con pequeñas proporciones de otros componentes (nitrógeno, oxígeno, hidrógeno, sulfuro de hidrógeno), conocida como "biogás" y a una suspensión acuosa o "lodo" que contiene los microorganismos responsables de la degradación de la materia orgánica (Lorenzo, Yaniris; Obaya, Ma Cristina, 2005).

La biomasa residual se puede obtener de los desechos que poseen un alto porcentaje de humedad, como restos de vegetales, restos de comida, restos agrícolas, restos de jardinería, residuos ganaderos, entre otros.

El proceso de degradación de la materia orgánica se divide en cuatro etapas:

- a) **Hidrólisis:** Los sustratos complejos (proteínas, carbohidratos y lípidos), son transformados a compuestos solubles (aminoácidos, azúcares y grasas) por enzimas extracelulares de las bacterias (Olaya, Y. ; Gonzáles, L., 2009).
- b) **Acidogénesis:** Los compuestos solubles se dividen por medio de bacterias fermentadoras para formar ácidos grasos más bajos (acético, propiónico y butírico) junto con dióxido de carbono e hidrógeno. Además, se forma en pequeñas cantidades de ácido láctico y de alcoholes (Lorenzo, Yaniris; Obaya, Ma Cristina, 2005).
- c) **Acetogénesis:** Los productos anteriormente mencionados se convierten por medio de bacterias acetogénicas en precursores de biogás (ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono) (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), 2010).
- d) **Metanogénesis:** Por último, los organismos metanógenos consumen el acetato, el hidrógeno y el dióxido de carbono, para producir metano (Rapport, J. ; Zhang, R. ; Jenkins, B. ; Williams, R., 2008). Se da de dos maneras: mediante la separación de dos moléculas de ácido acético, generando como producto dióxido de carbono y metano; o transformando el dióxido de carbono e hidrógeno en metano (Monnet, 2003).

La siguiente figura, representa las etapas de la degradación anaeróbica de forma sintetizada:

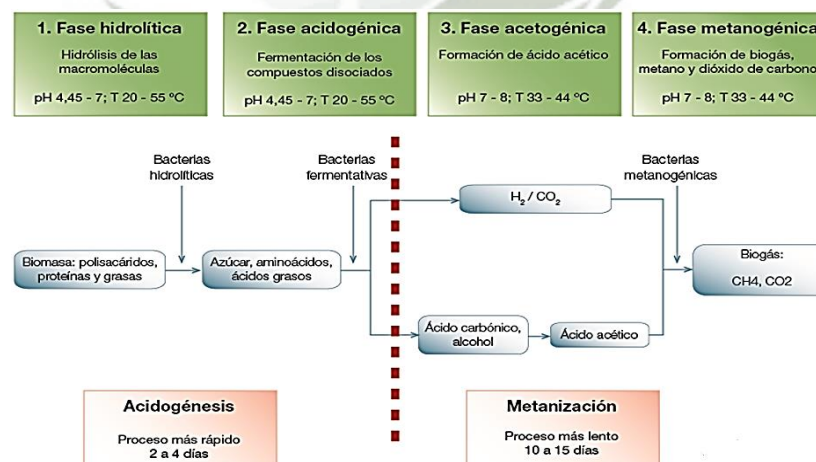


Figura N° 4: Etapas de la digestión anaeróbica.

2.5.1. Factores determinantes de la digestión anaeróbica

Para asegurar una correcta actividad en la digestión anaeróbica es necesario que se presenten algunas condiciones óptimas en el proceso. Entre los factores más relevantes se encuentran:

a. Sustrato: Los sustratos actualmente utilizados en este proceso son variados, pueden ser residuos orgánicos de origen vegetal, animal, agroindustrial, forestal, doméstico u otros, sus características bioquímicas deben permitir el desarrollo y la actividad microbiana del sistema anaeróbico (Varnero, 2011), por ello es importante realizar la caracterización de estos.

b. Sólidos Totales: Los sólidos totales se definen como el peso seco de la materia prima, o porción que permanece cuando el material es secado a una temperatura de 105 °C. (Olaya, Y. ; Gonzáles, L., 2009). Se calcula con la siguiente ecuación:

$$ST (\%) = \frac{b}{a} \times 100 \quad (6)$$

Dónde:

ST = contenido de sólidos totales (%) en base a muestra húmeda.

a = Masa (gr) de la muestra húmeda.

b = Masa (gr) de la muestra seca a 70±5 °C.

c. Sólidos Volátiles: Representan el porcentaje de sólidos totales (ST) que se volatilizan mediante calcinación a 550°C (Miembros de la Mesa de Biogás, 2010), el resultado del análisis determinará el potencial para volatilizarse y transformarse en biogás (Ramírez, 2016). Se aplica la siguiente ecuación: (Zagal, E. & Sadzawka, A., 2007)

$$SV (\%) = \frac{a-b}{m} \times 100 \quad (7)$$

Dónde:

SV= contenido de sólidos volátiles (%) en base a muestra seca.

a = Masa (gr) del residuo más el recipiente antes de la calcinación.

b = Masa (gr) del residuo más el recipiente después de la calcinación.

m = Masa (gr) de la muestra húmeda tal.

d. Relación C/N: La relación carbono/nitrógeno es la razón entre el carbono orgánico total y el nitrógeno total. El carbono orgánico total es la fracción de carbono de la materia orgánica, para

determinarlo se aplican las siguientes ecuaciones: (Sadzawka, A.; Carrasco, M.; Grez, R. y Mora M., 2005)

$$\text{Materia orgánica (\%)} = \frac{a - b}{a} \times 100 \quad (8)$$

Dónde:

Materia orgánica = concentración de materia orgánica (%) en base a muestra seca.

a = Masa (gr) de la muestra seca a 70 ± 5 °C antes de la calcinación.

b = Masa (gr) de la muestra calcinada a 550 ± 5 °C.

Este método considera que la materia orgánica tiene en promedio un 56% de carbono. Por lo tanto, para obtener el contenido de carbono orgánico de una muestra se divide entre 1.8 el contenido de materia orgánica (Sadzawka, A.; Carrasco, M.; Grez, R. y Mora M., 2005).

$$\text{Carbono Orgánico (\%)} = \frac{\text{M.O}}{1.8} \quad (9)$$

Dónde:

MO: Concentración, en % de materia orgánica.

El nitrógeno total es la suma de los nitrógenos amoniacal y orgánico presentes en la muestra, hallado mediante el método Kjeldahl, donde la muestra es sometida a las etapas de digestión, destilación y titulación (Norma Mexicana NMX-AA-24-1984, 1984).

Finalmente, la relación C/N se determina con la siguiente ecuación:

$$\text{Relación } C/N = \frac{C}{N} \quad (10)$$

Dónde:

C = Concentración, en % en base seca a 70 ± 5 °C, de carbono orgánico.

N = Concentración, en % en base seca a 70 ± 5 °C, de nitrógeno total.

La relación adecuada de carbono y nitrógeno en digestores anaeróbicos se encuentra entre 20 - 30:1 (Monnet, 2003). Sin embargo, cuando no se tiene un residuo con una relación C/N apropiada, es necesario realizar mezclas de materias en las proporciones adecuadas para obtener la relación C/N óptimas. Sobre la base del % de carbono y de nitrógeno de cada una de las materias primas, puede calcularse la relación C/N de la mezcla aplicando la siguiente ecuación: (Varnero, 2011)

$$K = \frac{C_1 \times Q_1 + C_2 \times Q_2 \dots \dots C_n \times Q_n}{N_1 \times Q_1 + N_2 \times Q_2 \dots \dots N_n \times Q_n} \quad (11)$$

Dónde:

K = C/N de la mezcla de materias primas.

C = % de carbono orgánico contenido en cada materia prima.

N = % de nitrógeno orgánico contenido en cada materia prima.

Q = Peso fresco de cada materia, expresado en kilos o toneladas.

e. pH: Los diferentes grupos bacterianos presentes en el proceso de digestión anaeróbica presentan unos niveles de actividad óptimos en torno a la neutralidad. El óptimo es entre 5.5 y 6.5 para acidogénicos y entre 7.8 y 8.2 para metanogénicos. El pH óptimo para cultivos mixtos se encuentra en el rango entre 6.8 y 7.4, siendo el pH neutro el ideal (Varnero, 2011).

f. Temperatura: La digestión anaeróbica se puede llevar a cabo en un amplio intervalo de temperaturas, pero dependiendo del tipo de bacterias que se utilicen se pueden diferenciar tres intervalos diferentes (Cuesta, J. ; Martín, F. ; Vicente, G. & Villar, S. , 2011).

Tabla N° 3: Intervalos de temperatura en el que trabajan las bacterias anaeróbicas

Bacterias	Rango de Temperaturas
Psicrofílicas	Menos de 20°C
Mesofílicas	Entre 20°C y 40°C
Termofílicas	Más de 40°C

Fuente: (Cuesta, J. ; Martín, F. ; Vicente, G. & Villar, S. , 2011)

g. Tiempo de retención hidráulico (TRH): El tiempo de retención es definido como el periodo de tiempo que permanece la materia orgánica dentro del sistema para alcanzar la degradación (Olaya, 2006).

Tabla N° 4: Tiempo de retención según la temperatura.

Región característica	Temperatura (°C)	Tiempo de retención (días)
Trópico	30	15
Valle	20	25
Altiplano	10	60

Fuente: (Martí, 2008)

h. Agitación: Es un punto clave en la digestión anaeróbica, debido a que este parámetro estimula el contacto directo de sustrato orgánico con las poblaciones bacterianas que desarrollan

el proceso. Además evita la acumulación de lodo en la parte superior del biodigestor (Cendales, 2011).

2.5.2. Biodigestores

El biodigestor es un recipiente cerrado o tanque el cual puede ser construido con diversos materiales como ladrillo y cemento, metal o plástico, de forma cilíndrica o esférica. Posee un ducto de entrada a través del cual se suministra la materia orgánica en forma conjunta con agua. Tiene, a su vez un ducto de salida en el cual el material ya digerido por acción bacteriana abandona el biodigestor (González, 2011).

De acuerdo a la frecuencia de carga, los sistemas de biodigestión se pueden clasificar en:

- **Sistema Batch o discontinuo:** Se cargan y cierran hasta que se produzca todo el biogás, se descargan posteriormente antes de cargarse con nueva biomasa. Los tiempos de retención suelen ser prolongados y pueden instalarse biodigestores en serie y llenarlos en diferentes tiempos para que la producción de biogás sea constante (Ministerio del Ambiente, 2015).
- **Sistemas semi-continuos:** Son los que se cargan una vez al día o a la semana, con cierta frecuencia, y permiten tratar biomasa sólida y normalmente mezclada con agua (Ministerio del Ambiente, 2015).
- **Sistemas continuos:** Se usan cuando se dispone de biomasa residual de forma casi continua, y normalmente líquida. Dado que la disposición de biomasa líquida es casi diaria, el flujo de materia que ingresa es constante, y los tiempos de retención son menores que en los discontinuos por tratar residuos líquidos con baja carga orgánica ya disuelta (Ministerio del Ambiente, 2015).

Además, existen distintos modelos de biodigestores, que se detallan a continuación:

- **Biodigestor con cúpula o campana flotante:** Este modelo de digestor consta de un tambor de acero o de fibra de vidrio reforzado con plástico (FRP), hecho que lo encarece bastante; un tambor con paredes y fondo de ladrillo, y su construcción es vertical. El gas es retenido bajo una tapa flotante que se desplaza por una viga transversal (Brusi, E. ; Navaz, M., 2017).

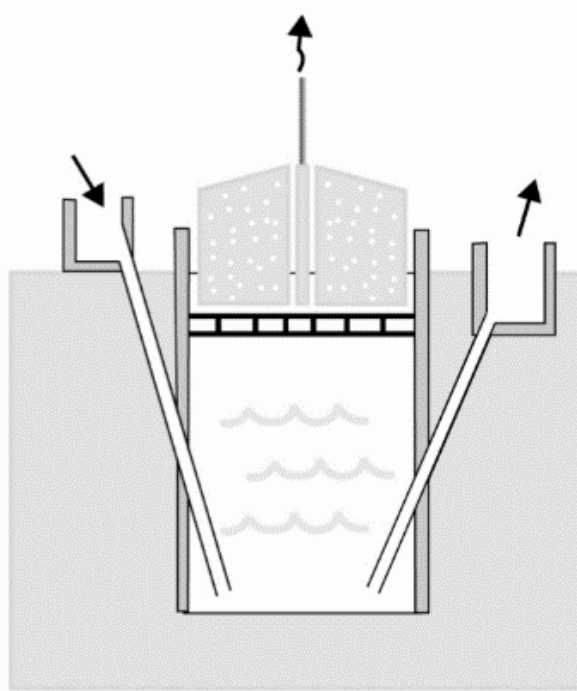


Figura N° 5: Biodigestor con cúpula flotante. (Flores, 2010)

- **Biodigestor con cúpula o campana fija:** Consiste en una cámara de gas de volumen fijo construida de ladrillo, piedra, hormigón o adobe y recubierta por capas de mortero. La cúpula y el fondo son hemisféricos y las paredes que los unen tienen forma cilíndrica (Brusi, E. ; Navaz, M., 2017).

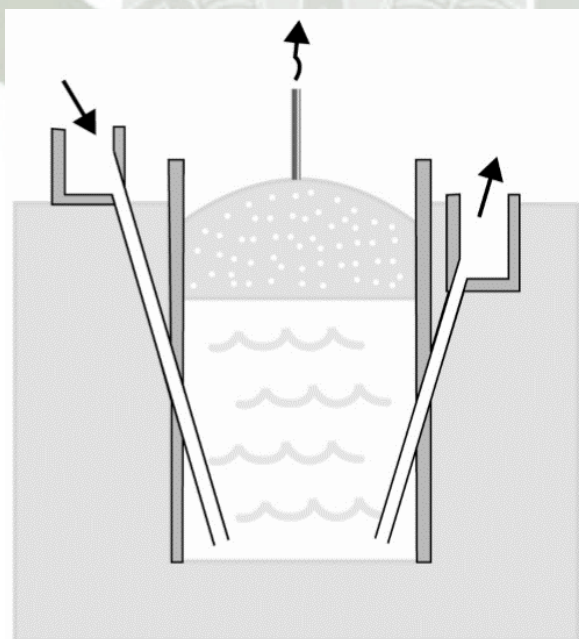


Figura N° 6: Biodigestor con cúpula fija. (Flores, 2010)

- **Biodigestor tubular o la planta balón:** Consiste en una especie de bolsa tubular de polietileno que se encuentra semienterrada. Tiene un costo mucho menor que las demás pero posee una vida útil inferior (Cepero, L. ; Savran, V. ; Blanco, D. ; Díaz, M. ; Suárez, J y Palacios, A. , 2012).

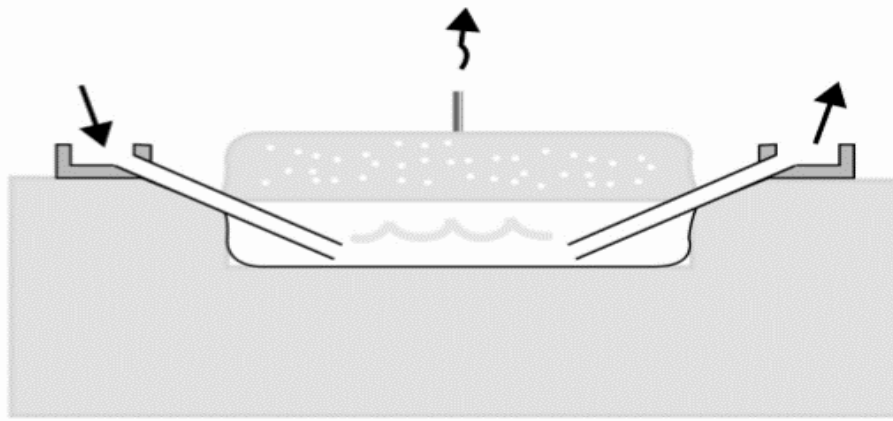


Figura N° 7: Biodigestor tubular. (Flores, 2010)

2.5.3. Dimensionamiento del Biodigestor

Desde el punto de vista ingenieril, el dimensionado de los digestores anaerobios se realiza utilizando los criterios básicos de ingeniería de la reacción química y/o biológica, con el objeto de determinar el volumen mínimo del digestor requerido para tratar un caudal de alimentación dado y obtener una eliminación de materia orgánica definida (normalmente una reducción de sólidos volátiles o una eliminación de la demanda química de oxígeno) (Campos, E. ; Elías, X. y Flotats, X. , 2012) .

A. Carga diaria: Es la biomasa diaria introducida en el biodigestor. Es calculada como el total de carga orgánica y mezcla de agua (Olaya, Y. ; Gonzáles, L., 2009).

$$CD = CO + \text{agua} \quad (12)$$

Dónde:

CD = Carga diaria en m³/día.

CO = Cantidad de carga orgánica utilizable (Residuos vegetales + Estiércol).

Como medida de contingencia se sugiere adicionar un factor de seguridad (F_s) del 25%.

B. Cámara de digestión y domo de gas: La cámara de digestión es donde se acumulará la parte líquida que corresponde a la biomasa o sustrato, el domo de gas es donde se acumulará el biogás

generado por la biodigestión (Toala, 2013). El 25% corresponde a la parte gaseosa del total del biodigestor (domo de gas), mientras que la parte líquida (cámara de digestión) corresponde al 75% del mismo, de tal manera el volumen total será la suma de ambos (Avenidaño, 2010).

El dimensionamiento geométrico más recomendado es el de forma cilíndrica, y sus medidas son calculadas con la ecuación N° 12, aplicándose la relación H: 3D (Walas, 2004).

$$V = \frac{\pi \times h \times D^2}{4} \quad (13)$$

Dónde:

V = Volumen del biodigestor en m³.

$\pi = 3.14159$

h = Altura en m.

D = Diámetro en m.

Para determinar el área se aplica la siguiente ecuación:

$$A = \frac{\pi \times D^2}{4} \quad (14)$$

Dónde:

A = Área del biodigestor en m².

$\pi = 3.14159$

D = Diámetro en m.

La siguiente ecuación es utilizada para hallar el área real del biodigestor:

$$A_R = A \times TRH \quad (15)$$

Dónde:

A_R = Área real del biodigestor en m².

TRH = Tiempo de retención hidráulica en días.

C. Tanque de mezcla y Cámara de extracción: Según Walas (Walas, 2004), se recomienda considerar el 25% del volumen total del biodigestor para determinar el volumen del tanque de mezcla y de la cámara de extracción.

D. Gasómetro: Es donde se almacena el biogás producido durante el proceso anaeróbico. El volumen y el diámetro del gasómetro se hallan con la ecuación N°13, y la altura con la relación

$\frac{H}{D} : 10$ (Walas, 2004).

2.5.4. Importancia de la digestión anaeróbica

Este proceso tiene un alto potencial en el tratamiento de residuos orgánicos, ya que tiene diversos beneficios ambientales como es la significativa reducción de la presión sobre los rellenos sanitarios. De esta forma se reducen significativamente los costos de la disposición de estos residuos, e incluso como subproducto de la digestión se obtiene un efluente denominado digestato, el cual está formado por una parte líquida llamada biol y una parte sólida denominada biosol. Este material se ha reportado que tiene características de fertilizante orgánico y se ha aplicado en agricultura por su gran cantidad de nutrientes. Además, el tratamiento anaeróbico de los residuos orgánicos contribuye a la protección de las aguas subterráneas, reduciendo el riesgo de lixiviación de nitratos (Varnero, 2011).

Por otro lado, el biogás tiene una amplia variedad de beneficios económicos, ambientales y energéticos, que, por ser un derivado de la biomasa, constituye una fuente de energía renovable. Así mismo, permite una gestión mejorada de nutrientes, la captura y uso de biogás, y capitalizar la reducción de emisiones por la emisión de energía limpia, a través de la venta de bonos de carbono.

2.6. Marco legal

Tabla N° 5: Marco legal de gestión de residuos sólidos.

MARCO LEGAL	
CONSTITUCIÓN POLÍTICA DEL PERÚ, 1993	Establece en el título I: De la persona y de la sociedad, artículo 2 e inciso 22: A la paz, a la tranquilidad, al disfrute del tiempo libre y al descanso, así como a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida.
LEY N° 27972, LEY ORGÁNICA DE MUNICIPALIDADES	Establece en el Artículo 80°. - Saneamiento, salubridad y salud: que las municipalidades provinciales ejercen las funciones de regular y controlar el proceso de disposición final de desechos sólidos, líquidos y vertimientos industriales en el ámbito provincial, y las municipalidades distritales deben proveer el servicio de limpieza pública determinando las áreas de acumulación de desechos, rellenos sanitarios y el aprovechamiento industrial de desperdicios.
LEY GENERAL DEL AMBIENTE,	Enuncia en el Artículo I, Del derecho y deber fundamental: Toda persona tiene el derecho irrenunciable a vivir en un

LEY 28611

ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida, y el deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente.

En el Artículo 119, Del manejo de los residuos sólidos, indica lo siguiente: 119.1 La gestión de los residuos sólidos de origen doméstico, comercial o que siendo de origen distinto presenten características similares a aquellos, son de responsabilidad de los gobiernos locales. Por ley se establece el régimen de gestión y manejo de los residuos sólidos municipales.

Establece: derechos, obligaciones, atribuciones y responsabilidades de la sociedad en su conjunto, para asegurar una gestión y manejo de los residuos sólidos, sanitaria y ambientalmente adecuada, con sujeción a los principios de minimización, prevención de riesgos ambientales y protección de la salud y el bienestar de la persona humana.

**LEY GENERAL DE RESIDUOS
SÓLIDOS, LEY 27314**

Art. 10°, todo generador está obligado a acondicionar y almacenar en forma segura, sanitaria y ambientalmente adecuada los residuos, previo a su entrega a la EPS-RS o a la EC-RS o municipalidad, para continuar con su manejo hasta su destino final. Art. 38°, para el almacenamiento de residuos, estos deben ser acondicionados de acuerdo a su naturaleza física, química y biológica, considerando sus características de peligrosidad, su incompatibilidad con otros residuos, así como las reacciones que puedan ocurrir con el material del recipiente que lo contiene.

**REGLAMENTO DE LA LEY
GENERAL DE RESIDUOS SÓLIDOS,
D.S. 057-2004-PCM Y
MODIFICATORIA D.L. N° 1065**

En el eje N°2 de Política: Gestión Integral de la Calidad Ambiental en el punto N°4 “Residuos Sólidos” establece: Fortalecer la gestión de los gobiernos regionales y locales en materia de residuos sólidos de ámbito municipal, priorizando su aprovechamiento.

**DECRETO SUPREMO N° 012-2009-
MINAM, POLÍTICA NACIONAL
DEL AMBIENTE**

**NORMA TÉCNICA PERUANA NTP
900.058.2005: CÓDIGO DE COLORES
PARA LOS DISPOSITIVOS DE
ALMACENAMIENTO DE
RESIDUOS**

Establece los colores a ser utilizados en los dispositivos de almacenamiento de residuos, con el fin de asegurar la identificación y segregación de los residuos.

**RESOLUCIÓN MINISTERIAL N°
282-2003-SA/DM, REGLAMENTO
SANITARIO DE
FUNCIONAMIENTO DE
MERCADOS DE ABASTO**

Art. 41° “Eliminación de residuos sólidos”: Los residuos sólidos que se generen en cada puesto del mercado, se depositarán en recipientes con su respectiva tapa, todo de material impermeable, de fácil limpieza y con una bolsa de plástico en el interior para facilitar la evacuación de los residuos sólidos y su higienización. El titular o responsable del puesto está en la obligación de mantener el recipiente de los residuos sólidos limpio y desinfectado, tarea que realizará diariamente.

Capítulo III: DISEÑO EXPERIMENTAL DE LA INVESTIGACIÓN

Este capítulo presenta una base metodológica y describe el campo de verificación experimental, el diseño, las técnicas e instrumentos utilizados en el trabajo de investigación.

3.1. CAMPO DE VERIFICACIÓN

3.1.1. Ubicación espacial

La investigación se llevó a cabo en el Mercado Mayorista Metropolitano (MMM – Río Seco) situado en el Distrito de Cerro Colorado en la Vía Yura Km. 8.5 Pueblo Joven Río Seco.

3.1.2. Unidades de estudio

Mercado Mayorista Metropolitano (MMM – Río Seco)

Puestos de expendio como fuente generadora de RR.SS.

3.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El diseño de investigación empleado en este trabajo resultó ser experimental y cuali-cuantitativo debido a que se utilizó ensayos experimentales como fuente de información cualitativa y cuantitativa usada para su respectivo análisis.

3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.3.1. Población

La población analizada se conformó por 219 puestos de expendio distribuidos en el Mercado Mayorista Metropolitano (MMM – Río Seco) en cuatro rubros de actividad comercial: a) Frutas; b) Abarrotes; c) Verduras y hortalizas ; y d) Restaurantes.

3.3.2. Muestra

La muestra se obtuvo de una selección estadística que resultó ser representativa de la población total de puestos de expendio generadores de residuos sólidos.

3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

3.4.1. Técnicas

Se utilizó como principales técnicas la observación y manipulación científica, el manejo de campo espacial, la experimentación en laboratorio y campo informático.

3.4.2. Instrumentos

Los principales instrumentos utilizados en este trabajo consistieron en:

- Registro de campo;
- Registro de laboratorio;
- Software informático; y
- Galería fotográfica.

3.5. MATERIALES

a) Material de estudio

- Residuos sólidos obtenidos y generados en MMM – Río Seco.
- Estiércol animal obtenido de establos vacunos (Socabaya).
- Agua de manantial obtenida del “Ojo de Milagro” (Characato).

b) Materiales y equipos de campo

- Bolsas de PEBD color blanco de 26 x 40 cm.
- Balde de plástico de 0.025 m³ (25 L. de capacidad).
- Lámina doble de polietileno de 2.0 x 2.0 m.
- Regla de 30 cm.
- Cinta métrica de 1 m.
- Balanza de plataforma electrónica (rango de pesaje de 0 a 200 kg), precisión ± 0.1 .
- Bolsa con cierre hermético Ziploc® de dimensiones 30 x 41 cm.

c) Material y equipos de laboratorio

- Cápsulas de porcelana.
- Crisoles.
- Homogeneizador electromecánico (*Óster*).
- Botellas de pírrex (*BOECO Germany*) de 600 mL.
- Balanza analítica (*Sartorius*) precisión de ± 0.01 .
- Baño termostático (*Selecta*).
- Estufa (*Selecta*).
- Mufla (*Selecta*).
- Analizador de gases CH₄ / CO₂ / O₂ / H₂S (*Sewerin Multitec 540*) con las siguientes especificaciones: Sensor infrarrojo → Anhídrido carbónico: 0-100 %, Sensor

electroquímico; Sensor electroquímico: Metano: 0-100% volumen, oxígeno: 0-25%, ácido sulfhídrico: 0- 2 000 ppm y monóxido de carbono: 0 - 500 ppm.

d) Otros materiales

- Bolsas de diuresis (*Medic*) de 2 L 20.6 x 27 cm.
- Agujas hipodérmicas 18 x 1 ½”.
- Cinta Teflón (*Shurtape*).
- Cinta adhesiva (*Moldimix*).

e) Software

- Microsoft Excel 2016 en entorno Windows 10.
- AutoCAD 2017 en entorno Windows 10.
- Sketchup 2017 en entorno Windows 10.

3.6. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

A. Determinación de la generación diaria de residuos sólidos del MMM - Río

Seco.

Para la ejecución de este método se tuvo la autorización del presidente de la Asociación de Comerciantes del MMM – Río Seco y de la Subgerencia de Residuos Sólidos de la Municipalidad Distrital de Cerro Colorado para proveer la interrelación institucional de nuestra Universidad.

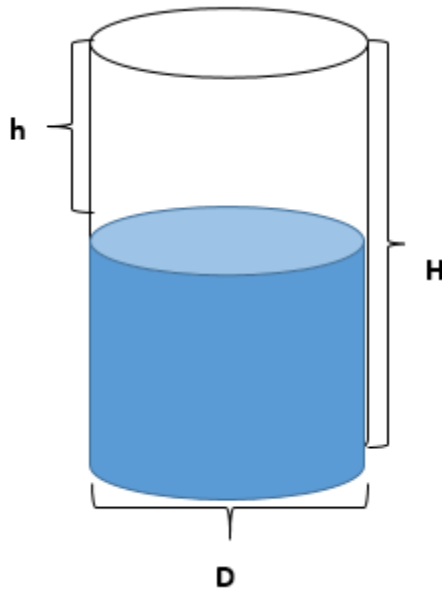
El MMM – Río Seco cuenta con una población (N_p) de 219 puestos de expendio al mayoreo y minoreo que generan residuos sólidos permanentemente debido a su actividad netamente comercial; por su amplia extensión se obtuvo una muestra representativa mediante análisis estadístico como lo recomienda la Guía Metodológica para el desarrollo del Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos Municipales (Ministerio del Ambiente, 2015) y así poder manejar los residuos sólidos generados. El tamaño de

muestra (n) se determinó utilizando la ecuación N°1 (pág. 12) con un nivel de confianza ($Z_{1-\alpha/2}$) del 95%.

Para determinar el número de puestos de expendio por rubro comercial a integrar la muestra, se ejecutó una distribución en función de los cuatro rubros existentes en el mercado: a) Frutas; b) Abarrotes; c) Restaurantes; y d) Verduras y hortalizas.

Con esta información se determinó la generación total diaria de residuos sólidos (GT) del MMM – Río Seco para lo cual se distribuyó en forma diaria bolsas plásticas de polietileno de baja densidad de color blanco para evitar el paso de la luz solar que provoca la degradación de los residuos sólidos, dichas bolsas fueron rotuladas con el código que se asignó a los puestos participantes. La recolección de las bolsas se hizo diariamente durante 7 días y se trasladaron a un área autorizada dentro del mercado donde se realizó el pesaje de cada bolsa. Con los datos del pesaje se calculó la generación per-puesto (GPP) utilizando la ecuación N°2 (pág. 12), posteriormente, se halló la generación total diaria de residuos del mercado (GT) utilizando la ecuación N°3 (pág. 12).

Además, se determinó la densidad aparente (ρ) de los residuos sólidos utilizando un balde de 25 litros de capacidad total (H: 0.39 m; D: 0.29 m) que fue llenado hasta el 60 % de su capacidad aproximadamente con los residuos de las bolsas recolectadas, se anotó el pesaje del balde lleno el cual fue levantado 20 cm sobre la superficie y se dejó caer tres veces con la finalidad de llenar los espacios vacíos. Después se midió con una cinta métrica la altura libre de los residuos sólidos después de compactarse (h) (Figura N°8) y se determinó el volumen que ocupaban los residuos.



h: Altura libre de residuos sólidos después de la compactación, m.

H: Altura de balde, 0.39 m.

D: Diámetro del balde, 0.29 m.

Figura N° 8: Esquema del balde para hallar densidad (in situ).

La densidad aparente (ρ) se calculó durante 7 días (2 repeticiones por día) y se aplicó la ecuación N°4 (pág.13), esto permitió determinar el número de los contenedores y así generar la propuesta de segregación en el MMM – Río Seco.

B. Determinación de la composición de los residuos sólidos generados del MMM – Río Seco.

Después de determinar la densidad aparente (ρ) se procedió a vaciar el contenido de los baldes en una lámina de polietileno de 2x2 m obteniendo aproximadamente 40 Kg de residuos sólidos, se siguió el método del cuarteo (Sakurai, 1982) modificándolo como se observa en la Figura N°9; se dividió el montón en cuatro partes y se escogió las partes opuestas para formar un montón más pequeño y manejable de 20 Kg aproximadamente.

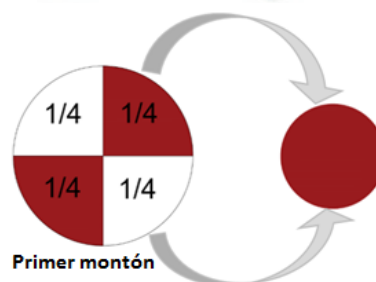


Figura N° 9: Método del cuarteo modificado. (Sakurai, 1982)

Posteriormente, se realizó la segregación de los residuos sólidos por tipo de residuo (residuos vegetales, papel, restos de comida, bolsas, plástico PET, cartón y otros) y finalmente se pesó cada uno de ellos.

Este procedimiento permitió obtener la proporción de residuos sólidos vegetales de la muestra evaluada de residuos sólidos del MMM – Río Seco.

C. Obtención y caracterización de los residuos sólidos vegetales.

A partir de la segregación de residuos sólidos del método anterior se tomó una muestra de 1 Kg de residuos sólidos vegetales en una bolsa con cierre hermético *Ziploc* 30 x 41 cm debidamente rotulada para facilitar su manejo y transporte al laboratorio. La muestra fue picada en trozos de 1 cm para aumentar su superficie específica y poder secarlo con eficiencia. Se determinaron los siguientes parámetros.

- i) **Densidad aparente (ρ):** Se determinó a partir de los residuos sólidos vegetales picados, sumergiendo una alícuota dentro de una probeta *Boeco Germany* de 250 ml con agua y se midió el volumen desplazado como indica el principio de Arquímedes.
- ii) **Humedad (H) y Sólidos totales (ST):** Se pesó una alícuota en un cápsula de porcelana para llevarlo a la estufa a 70 ± 5 °C durante 24 horas como indica el acta Métodos de Análisis de Compost (Sadzawka, A.; Carrasco, M.; Grez, R. y Mora M., 2005). Posteriormente, la muestra seca fue pesada en una balanza analítica *Sartorius*. Este procedimiento se ejecutó por duplicado y se determinó la humedad (H) y los sólidos totales (ST) utilizando la ecuación N°5 y N°6 (pág. 13 y 17), respectivamente.
- iii) **Sólidos volátiles (SV):** Se colocó la muestra seca en un crisol y se llevó a la mufla *Selecta* a 550 ± 5 °C durante 2 horas como sugiere el Protocolo de Métodos de Análisis para suelos y lodos (Zagal, E. & Sadzawka, A., 2007), culminada la calcinación inmediatamente se pesó en una balanza analítica *Sartorius*. Este procedimiento se ejecutó por duplicado y se calculó los sólidos volátiles (SV) con la ecuación N°7 (pág. 17).

- iv) Materia Orgánica (MO):** Se pesó una alícuota en un crisol y fue llevado a la estufa a 50 ± 5 °C durante 24 horas, después fue triturado con un mortero y colocado en la mufla a 550 ± 5 °C durante 2 horas como señala el acta Métodos de Análisis de Compost (Sadzawka, A.; Carrasco, M.; Grez, R. y Mora M., 2005), culminada la calcinación inmediatamente se pesó en una balanza analítica *Sartorius*. Este procedimiento se ejecutó por duplicado y se calculó la materia orgánica (MO) con la ecuación N°8 (pág. 18).
- v) Carbono Orgánico (C):** Con el valor de la materia orgánica (MO) se determinó el carbono orgánico utilizando la ecuación N°9 (pág. 18), este método considera que la materia orgánica tiene en promedio un 56% de carbono; por lo tanto, se obtuvo el contenido de carbono orgánico de la muestra dividiendo entre 1.8 el contenido de materia orgánica (Sadzawka, A.; Carrasco, M.; Grez, R. y Mora M., 2005).
- vi) Nitrógeno Total (N):** Se llevó dos muestras al laboratorio de Ensayo y Control de Calidad de la Facultad Cs. Farmacéuticas, Bioquímicas y Biotecnológicas de la Universidad Católica de Santa María, acreditado por INACAL, donde se aplicó el método Kjeldahl para su determinación.
- vii) Relación C/N:** se determinó para los residuos sólidos vegetales con la ecuación N°10 (pág. 18) (Sadzawka, A.; Carrasco, M.; Grez, R. y Mora M., 2005).

Estos parámetros permitieron conocer la calidad del material y así llevarlo a digestión anaeróbica.

D. Determinación de los parámetros de operación de un biodigestor anaeróbico a escala laboratorio.

Se realizó el montaje de los ensayos de digestión anaeróbica utilizando seis botellas de pírax *BOECO Germany* con una capacidad máxima de 600 ml, de los cuales 450 ml fueron para la fase sólida y 150 ml para la fase gaseosa. Con el objetivo de mantener la

hermeticidad de cada uno de los biorreactores se utilizaron llaves y volandas planas, sellándose con *Moldimix* y con teflón especial para gas y agua caliente *Shurtape*.

La Figura N°10 muestra el esquema general de los biorreactores que se utilizaron durante los ensayos.

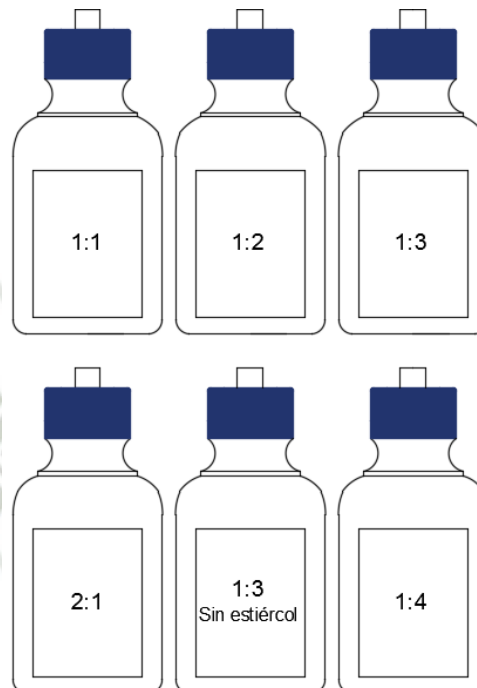


Figura N° 10: Esquema de los biorreactores de laboratorio usados para la digestión anaeróbica de los residuos sólidos vegetales obtenidos de métodos anteriores.

Por otro lado, los residuos vegetales fueron sometidos a un proceso de trituración con el objetivo de garantizar una mezcla homogénea, para ello se empleó un homogeneizador electromecánico *Óster*. Para cargar cada una de las botellas se aplicó una secuencia de relaciones de mezcla (sustrato: agua): a) 1:1; b) 1:2; c) 1:3; d) 1:4 y e) 2:1, y se agregó estiércol vacuno al 20% en cada una de ellas como iniciador del proceso de digestión anaeróbica (Cendales, 2011). Como blanco se conservó una de ellas sin adición de estiércol con una relación 1:3 (patrón); posteriormente, todas fueron llevadas a un baño termostático *Selecta* que mantuvo una temperatura mesofílica de 40°C durante 20 días, agitando vigorosamente cada una de las botellas cada 3 horas para conseguir contacto directo del sustrato con la población metanogénica de la digestión anaeróbica. Asimismo,

se monitoreó el pH inicial y final con las tiras reactivas de pH para determinar su evolución en grado de acidez.

E. Almacenamiento y determinación porcentual de biometano en el biogás generado durante la digestión anaeróbica.

A cada botella se conectó una bolsa de diuresis *Medic* de 2 litros de capacidad con dimensiones 20.6 x 27 cm mediante agujas hipodérmicas calibre 18x1 ½”, luego se midió el volumen de biogás siguiendo el principio de Arquímedes sumergiendo las bolsas en agua y midiendo el volumen desplazado. Por último, se analizó la composición del biogás con un analizador de gases *Sewerin Multitec 540* para determinar contenidos de metano, oxígeno, anhídrido carbónico y ácido sulfhídrico.

Este procedimiento sirvió para seleccionar la relación de mezcla de sustrato: agua que generó mayor proporción de biometano en el biogás evacuado.

F. Determinación del tipo de recolección selectiva.

Con la información proporcionada por MINAM (2015) se procedió a analizar las ventajas y desventajas de los tipos de recolección selectiva: a) Administración directa de la municipalidad; b) Asociación de recicladores formalizados; c) Mixto y d) Empresa comercializadora de residuos sólidos (EC-RS), para lo cual se tomó en cuenta tres indicadores: financiamiento, personal calificado y gestión; los cuales permitieron la elección del tipo de recolección selectiva y la identificación de los principales actores, estos resultados fueron presentados en un cuadro comparativo. Además, se planteó las competencias básicas que deben cumplir dichos actores con el objetivo de afianzamiento de la implementación y el seguimiento del sistema de segregación en el MMM – Río Seco.

G. Equipamiento para la segregación de la fuente y recolección selectiva de residuos sólidos y distribución de los dispositivos de almacenamiento.

Se analizó los equipamientos establecidos por MINAM (2015), manejando un cuadro comparativo que consideró indicadores de costo y capacidad de almacenamiento para elegir uno de los distintos tipos de dispositivos de almacenamiento en espacios públicos y privados: a) Tachos circulares; b) Tachos pequeños; c) Contenedores; d) Contenedor soterrado; e) Módulo de reciclaje y f) Estación de reciclaje. Luego se distribuyó los dispositivos de almacenamiento teniendo en cuenta la generación diaria y la densidad de los residuos sólidos, así como la distribución de los puestos de expendio.

Asimismo, se eligió uno de los distintos tipos de vehículos: a) Convencional y b) No convencional, tomando en cuenta su diseño y la accesibilidad de la zona. Por otra parte, se establecieron los equipos de protección personal para los operarios de recolección de los residuos sólidos con el fin de salvaguardar su integridad personal durante su trabajo.

H. Determinación del diseño de rutas del sistema.

Se determinó el diseño para tres tipos de rutas establecidas por MINAM (2015): a) Ruta de traslado; b) Ruta de recolección y c) Ruta de transporte. En el diseño de *a* y *c* se consideró los sentidos de circulación y distancia a fin de realizar el recorrido más breve con el vehículo compactador. Para la ruta de recolección se tomó en cuenta los tipos de trazos propuestos por Sakurai (1980): a) Peine y b) Doble peine, y el tiempo mínimo de duración. Asimismo, se asignó la frecuencia y el horario de recolección considerando los tipos de zona: a) Comercial y b) Residencial (Sakurai, 1980).

El diseño de las rutas del sistema se graficó usando el software AutoCAD 2017 a escala 1:500 con la finalidad de hacer fácil su comprensión.

I. Diseño y dimensionamiento del sistema de tratamiento anaeróbico.

Se optó por un biodigestor discontinuo de campana fija, capaz de mantener una vida útil mayor a 20 años, no posee restricción en el tipo de residuo a tratar y el mantenimiento de su sistema es baja (Ministerio del Ambiente, 2015). A continuación, se detalla el procedimiento que permitió diseñar el sistema de biodigestión:

a. Cámara de digestión y domo de gas: Inicialmente, se determinó la carga diaria (CD) del biodigestor aplicando la ecuación N°12 (pág. 22) y se agregó un factor de seguridad del 25%, dicho resultado se asignó al volumen de la cámara de digestión y el volumen del domo de gas fue de un 30% adicional al volumen de operación (Walas, 2004).

El dimensionamiento geométrico del sistema se calculó a partir del volumen total del biodigestor, el diámetro (D) del biodigestor se calculó con la ecuación N°13 (pág. 23) ya que tomó forma cilíndrica y la altura (H) se calculó con una relación $\frac{H}{D} = 3$ (Walas, 2004). Después, se determinó el área ocupada por el biodigestor usando la ecuación N°14 (pág. 23), este resultado fue multiplicado por el tiempo de retención hidráulica (TRH) que fue de 20 días obtenido en laboratorio. Con este valor se determinó el diámetro y volumen real del biodigestor aplicando la ecuación N°14 y N°13 (pág. 23), respectivamente.

b. Tanque de mezcla y cámara de descarga: Para determinar el volumen del tanque de mezcla y de la cámara de descarga se consideró el 25% del volumen total del biodigestor (Walas, 2004).

c. Gasómetro: El volumen del gasómetro se determinó a partir de los datos de generación de biogás, se calculó el diámetro con la ecuación N°13 (pág. 23) y la altura con la relación $\frac{H}{D} = 10$ (Walas, 2004).

Los cálculos ejecutados utilizando este método fueron implementados en un spread – sheet en MS-Excel en entorno Windows 10 presentado en el Anexo N°6 (pág.81) y

finalmente se construyó su dimensionamiento 3D virtual en Sketchup 2017 mostrando la vista frontal y transversal del biodigestor con la finalidad de observar su estructura dinámica.

J. Diseño de la planta de tratamiento.

El diseño preliminar de la planta de tratamiento se proyectó en AutoCAD 2017 a escala 1:500, donde se distribuyó según las operaciones y procesos por los cuales deben ser procesados los residuos sólidos vegetales, incluyendo áreas administrativas, de esparcimiento, vías de transporte interno y servicios higiénicos.

K. Definición del alcance del Plan de Manejo de Residuos Sólidos.

La elaboración del PMRS se basó en la Guía metodológica para el desarrollo del Plan de Manejo de Residuos Sólidos (Ministerio del Ambiente, 2015). Para la definición del alcance se especificó el área geográfica comprendida para el plan de manejo utilizando información del catastro de la Municipalidad Distrital de Cerro Colorado. Asimismo, se determinó el periodo de planeamiento que contempló tres etapas: a) Corto plazo; b) Mediano plazo y c) Largo plazo. Y, por último, se seleccionó el tipo de residuo sólido a considerar en el plan de manejo dentro de los cuales se encuentran: a) Domiciliarios; b) Mercados y ferias; c) Comercios, restaurantes, hoteles, instituciones educativas, farmacias y similares y d) Residuos recolectados en espacios públicos.

L. Establecimiento los objetivos y metas del Plan de Manejo de Residuos Sólidos.

Se identificó y formuló los objetivos generales y específicos del plan de manejo con el fin de resolver la problemática de residuos sólidos en el MMM – Río Seco, estos objetivos estuvieron relacionados con los cinco componentes básicos de los instrumentos de gestión de residuos sólidos: a) político institucional; b) técnico operacional; c) administrativo; d) de gestión y financieros y e) de educación ambiental. Las metas se

establecieron de acuerdo a los objetivos y se formularon de tal modo que se puedan medir temporal, cuantitativa y cualitativamente.

M. Elaboración de la matriz de actividades del Plan de Manejo de Residuos Sólidos.

Este método siguió las líneas de acción propuestas por el Plan de Manejo de Residuos Sólidos de la Municipalidad Distrital de Cerro Colorado (2016) para alcanzar los objetivos planteados y así garantizar la continuidad y sostenibilidad del proceso de implementación del PMRS; además a cada una se le atribuyó componentes que buscan la capacitación y mejora continua, a su vez promoviendo la participación de actores locales para mejorar la cultura ambiental en el mercado, consolidándose en el desarrollo de actividades prioritarias a corto, mediano y largo plazo y en cada uno se abarcó los aspectos técnico, social, económico, administrativo y ambiental que se debe considerar el PMRS. Como resultado se obtiene un cuadro resumen que se expresó en la matriz de actividades del PMRS.

N. Elaboración del Plan de Monitoreo del PMRS.

Se elaboró con la finalidad de verificar el trabajo que deben desarrollar los principales actores de la ejecución del plan de manejo de residuos sólidos. El plan de monitoreo comprendió subprogramas que son los componentes propuestos en la matriz del método anterior, y a cada una se le asignó un indicador y su correspondiente unidad de medida, ambos proporcionan información cuantitativa sobre el desenvolvimiento y cumplimiento de los objetivos del PMRS.

Capítulo IV:

RESULTADOS Y

DISCUSIONES

Este capítulo muestra los resultados obtenidos en la presente investigación. En primer lugar, se cuantificó la generación total diaria de los residuos sólidos del MMM – Río Seco; en segundo lugar, las condiciones de funcionamiento del biodigestor a escala laboratorio, el dimensionamiento del biodigestor y la propuesta del diseño de la planta de tratamiento; en tercer lugar, la propuesta del sistema de segregación en la fuente y recolección selectiva de residuos sólidos del mercado; y finalmente, se presenta el plan de manejo de residuos sólidos del MMM – Río Seco.

4.1. Determinación de la generación total diaria de residuos sólidos del MMM - Río Seco.

Se calculó el tamaño de la muestra con la ecuación N°1 que tomó como población 219 puestos, dando como resultado 50 muestras, además se le adicionó un 10% como contingencia, obteniendo el tamaño final de 55 puestos. (Anexo N°02, pág. 76)

Como se observa en la Tabla N°6 la distribución de la muestra se hizo en función al número de puestos existentes en cada rubro del mercado.

Tabla N° 6: Distribución de muestras por rubro.

Rubro	Cantidad	%	Número de muestras
Frutas	166	76	42
Abarrotes	36	16	9
Restaurantes	8	4	2
Verduras	9	4	2
Total	219	Total	55

La generación total diaria estimada de los residuos sólidos en el mercado resultó de 2 145.50 kg/día o 2.146 TM/día. Como se observa en la Figura N°11, el rubro de frutas es el de mayor generación de residuos sólidos con 1733.04 Kg/día que equivale a 80.8 %, además presenta un GPP de 10.44 Kg/puesto/día, debido a que sus productos son más propensos a la descomposición, siendo un factor el inapropiado embalaje y almacenamiento. En segundo lugar, se encuentra abarrotes con un GPP de 9.47 Kg/puesto/día, sin embargo, este sólo representa el 16% de la generación total de residuos. Finalmente, los rubros de verduras y comida son los de menor generación de residuos sólidos con 3% y 0.35 % respectivamente, debido al bajo número de puestos.

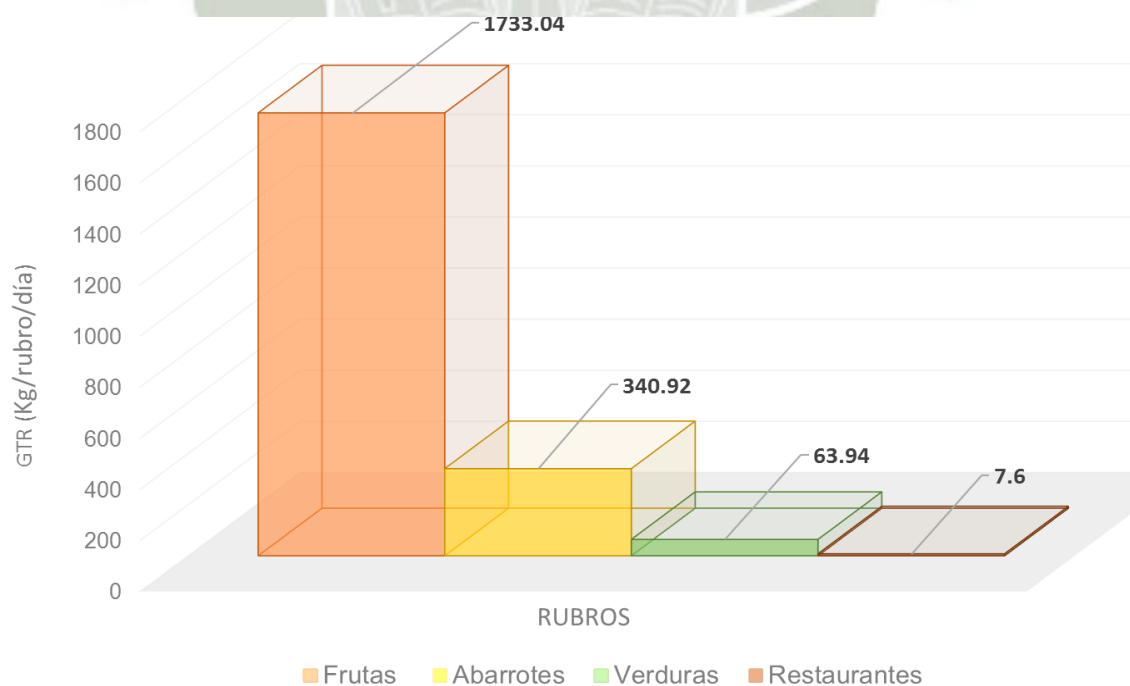


Figura N° 11: Generación total por rubro.

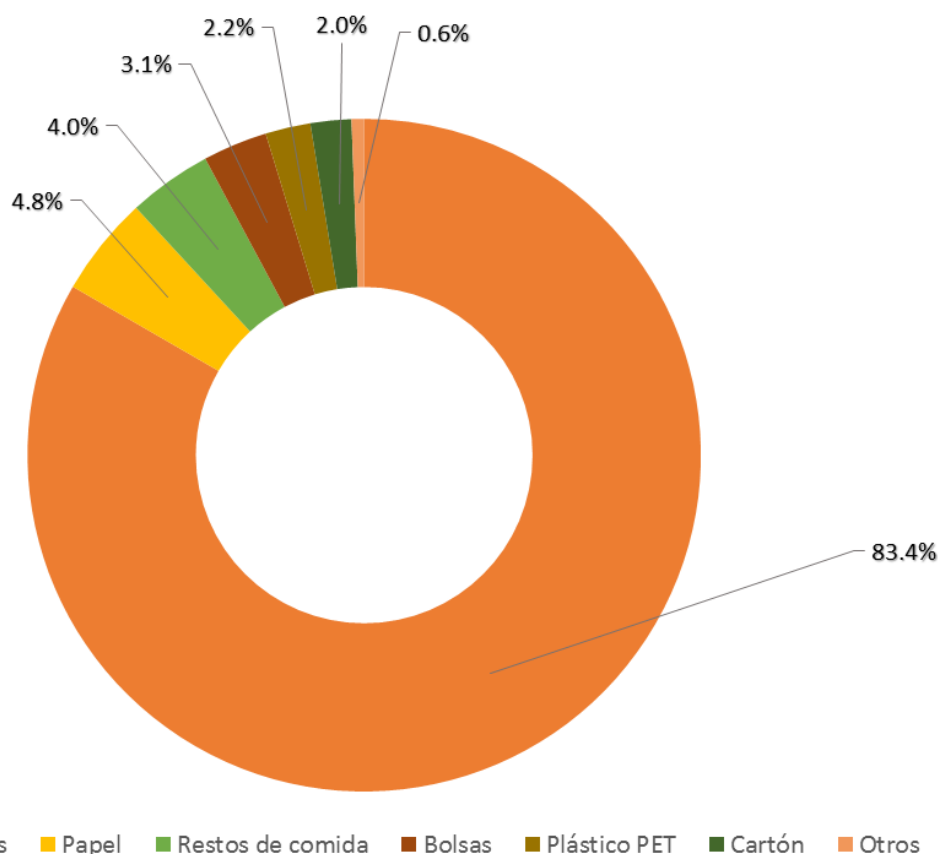
La densidad aparente (ρ) promedio de los residuos sólidos del mercado determinada en campo fue de 295.35 Kg/m³ (Anexo N°03, Tabla N°26, pág. 78), este valor no se encuentra muy alejado de la densidad promedio de 232.26 Kg/m³ del Mercado San Camilo (Municipalidad Provincial de Arequipa, 2015).

4.2. Determinación de la composición de los residuos sólidos generados del MMM-Río Seco.

En la Tabla N°7 y Figura N°12, se presenta la composición física de los residuos sólidos del mercado, en donde los residuos vegetales representan el 83.4 % y los restos de comida el 4 %, esto se contrasta con la información brindada por el informe “Diagnóstico de los residuos sólidos en el Perú” del Ministerio del Ambiente (Ministerio del Ambiente, 2013), donde se menciona que el 63.24 % de los residuos sólidos son compostables, lo que propicia su aprovechamiento. Con respecto al material reciclable, el papel es el más predominante con 4.8 % del total de los residuos, seguido por el cartón con un 2 %, y dentro de los plásticos el más predominante son las bolsas con un 3.1 %, seguido por es el plástico PET con un 2.2%. Y en menor proporción se encuentra otros con 0.6 %.

Tabla N° 7: Composición física de los residuos sólidos del mercado.

Tipo de residuos	Día 1 (kg)	Día 2 (kg)	Día 3 (kg)	Día 4 (kg)	Día 5 (kg)	Día 6 (kg)	Día 7 (kg)	Total (kg)	Composición porcentual (%)
Residuos vegetales	15.7	15	17.5	17.4	18.55	16	17	117.15	83.4
Papel	1.3	0.85	0.8	2	0.65	0.75	0.4	6.75	4.8
Restos de comida	0.5	1	0.9	0.9	0.65	1.3	0.4	5.65	4.0
Bolsas	0.3	0.85	0.42	0.85	0.65	0.9	0.38	4.35	3.1
Plástico PET	0.65	0.45	0.25	0.3	0.2	0.5	0.7	3.05	2.2
Cartón	0.3	0.35	0.2	0.4	0.3	1	0.2	2.75	2.0
Otros*	0.2	0	0	0.25	0.1	0	0.3	0.2	0.6
TOTAL								140.55	100



*Residuos como: Cuero, metal, tecnopor.

Figura N° 12: Composición física de los residuos sólidos.

4.3. Obtención y caracterización de los residuos sólidos vegetales.

En la Tabla N°8, se muestran los resultados del análisis de humedad, ST, SV y densidad de los residuos sólidos vegetales determinados a partir de la muestra obtenida en campo (Anexo N°04, pág. 79).

Tabla N° 8: Humedad, ST, SV y densidad de los residuos sólidos vegetales.

Parámetros	Promedio
Humedad (%)	82.94
Sólidos Totales (%)	17.06
Sólidos Volátiles (%)	16.62
Densidad (*) (gr/ml)	1.055

(*) Densidad aparente en laboratorio.

De acuerdo con (García. A; Gómez J., 2016), los residuos sólidos de frutas y verduras se caracterizan por su elevado contenido de humedad y también por su alto contenido de sólidos

volátiles pudiendo llegar a ser más del 95% de los sólidos totales presentando entre el 8 y 18% en peso de estos, esto se constata y se confirma con los resultados de la muestra ya que posee una elevada humedad con 82.94% y 16.62% de sólidos volátiles. El alto % de SV representa el gran potencial de los residuos sólidos vegetales para volatilizarse y transformarse en biogás (Ramírez, 2016).

En la Tabla N°9, se muestra la relación C/N de los residuos sólidos vegetales (frutas y verduras) que tiene una relación de 32.57:1 (Anexo N°04, pág. 79). Según los Miembros de la Mesa de Biogás (2010), los restos de frutas tienen una relación de 35:1 justificando el alto contenido de carbono orgánico en los residuos sólidos vegetales.

Tabla N° 9: Relación de carbono y nitrógeno de los residuos sólidos vegetales.

Materia orgánica. (%) (*)	Carbono orgánico. (%) (*)	Nitrógeno total. (%) (*)	Relación C/N (*)
94.39	52.44	1.61 *	32.57 : 1

(*) Promedio.

A continuación, se observa cómo se hallaron los parámetros tales como: densidad aparente (ρ) en laboratorio, humedad (H), sólidos totales (ST), sólidos volátiles (SV) y materia orgánica (MO).



Figura N° 13: Determinación de humedad y sólidos totales.



Figura N° 14: Determinación de sólidos volátiles.



Figura N° 15: Determinación de materia orgánica.



Figura N° 16: Determinación de densidad aparente en laboratorio.

4.4. Determinación de los parámetros de operación del biodigestor anaeróbico a escala laboratorio.

Para determinar las condiciones de operación se ejecutó el montaje de seis botellas herméticas de acuerdo con la metodología. Finalmente, en la Figura N°17 se observa las seis botellas fijadas a un TRH de 20 días. En el caso de mezclas 1:3 y 1:4 se observó la presencia de burbujas desde el día 5 confirmando la formación y génesis gaseosa.

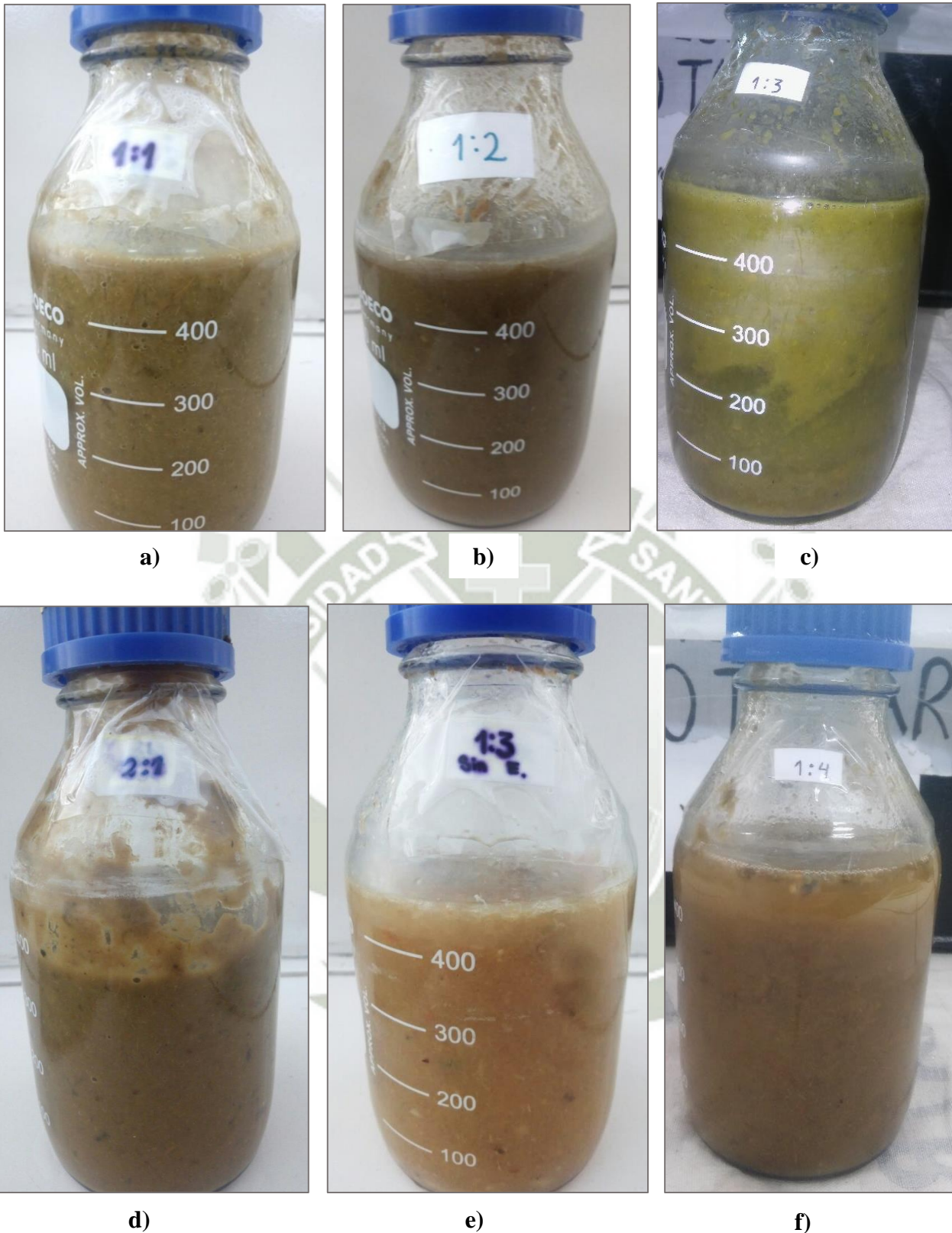


Figura N° 17: Biorreactores a TRH 20 días. a) 1:1; b) 1:2; c) 1:3; d) 2:1; e) 1:3 sin estiércol; f) 1:4.

La experimentación ejecutada confirmó una diferencia significativa en la generación de biogás en todos los casos observando uno de los sistemas con la máxima respuesta esperada

determinando como óptima la relación **1:3**, lo cual permitió decidir una prueba de confirmación que determinó este resultado y permitió concluir que la variable estudiada posee un efecto significativo ($n=2$; $p<0,05$) sobre la producción de a) Biogás y b) Biometano como se comprobó finalmente con la generación de 1 059.95 ml. a TP ambiental (22°C , 570 mm Hg) medidos en el gasómetro y que resultó ser el mayor de los seis sistemas considerados. En la Tabla N°10 se observa las condiciones de operación del biodigestor como sistema de prueba ejecutado por duplicado que mostró mayor producción gaseosa (relación de mezcla 1:3 o sustrato: agua) confirmando una alta producción de biogás (1 059 ml. a TP ambiental en una segunda prueba) a un TRH de 20 días y a una temperatura mesofílica de $40\pm 0.01^{\circ}\text{C}$. En cuanto al pH de los ensayos se iniciaron con un pH ácido de 4 y se esperaba que dicho pH se autorregule y alcance un valor cercano a la neutralidad; sin embargo, esto no sucedió ya que la mezcla se mantuvo ácida debido al alto porcentaje de cítricos, esto indicó que el sistema no tiene capacidad de amortiguamiento y provocó que se ralentice el proceso.

De otro lado, la relación C/N de la mezcla seleccionada resultó ser 30.98 : 1 (Anexo N°05, Tabla N°33, pág. 80) superando el rango recomendado (20-30:1) por lo que se confirma una alta conversión del carbono orgánico a metano en condiciones anaerobias, (Varnero, 2011) .

Tabla N° 10: Condiciones de operación del biodigestor de laboratorio que mostró máxima producción de biogás¹ (1 059,47 ml. TP ambiental).

Parámetros	Datos obtenidos
Relación mezcla sustrato:agua	1:3
Tiempo de retención	20 días
Temperatura	40°C
Iniciador /Starter	Estiércol vacuno
Relación C/N	30.98 : 1
pH	Inicial: 4
	Final: 4
Composición básica del sustrato alimentado al biodigestor	Frutas: [75 – 78]%
	Verduras: [2 -6] %
	Estiércol: 20%

¹ Los resultados presentados se muestran como la media esperada en la máxima producción de biogás y biometano ejecutada en experimentación por duplicado ($n=2$; $p<0.05$).

4.5. Almacenamiento y determinación porcentual de biometano en el biogás generado durante la digestión anaeróbica.

En la Figura N° 18, se muestra el almacenamiento del biogás en las bolsas de diuresis a través de una conexión mediante una aguja hipodérmica; posteriormente, se procedió a medir el volumen de biogás almacenado.



Figura N° 18: Almacenamiento de biogás en bolsas de diuresis.

Como se observa en la Figura N°19, la relación de mezcla 1:3 resultó ser la óptima ya que generó **1 059.47** ml a TP ambiental como promedio de biogás; en segundo lugar, se encuentra la relación de mezcla 1:4 que generó **748.2** ml de biogás a las mismas condiciones. Ambas relaciones de mezcla tuvieron la mayor producción de biogás debido al estiércol vacuno que tiene gran cantidad de nutrientes necesarios para el desarrollo de poblaciones anaeróbicas (Cendales, 2011) y al adecuado contenido de agua. En tercer lugar, la muestra patrón 1:3 generó **498.8** ml de biogás y, aunque a las relaciones de mezcla 2:1, 1:1 y 1:2 se les agregó estiércol vacuno presentaron cantidades mínimas de biogás principalmente debido a la poca cantidad de

agua donde los complejos bacterianos metanogénicos y otros microorganismos no pudieron funcionar efectivamente (Olaya, Y. ; Gonzáles, L., 2009).

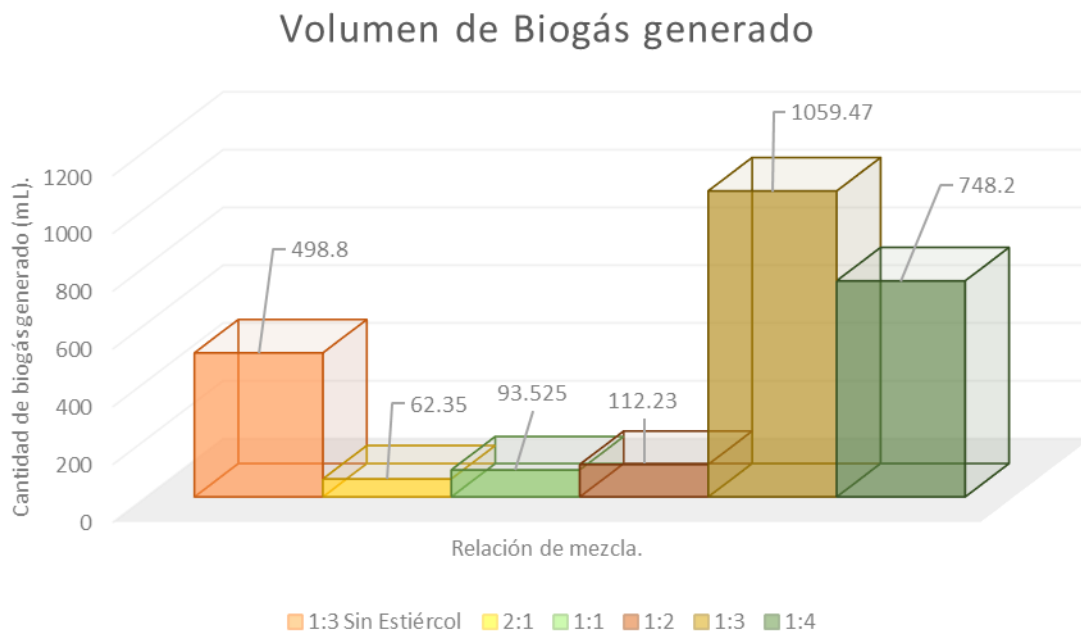


Figura N° 19: Volúmenes de biogás generados en la digestión anaeróbica.

La composición de biogás se determinó con un analizador de gases *Sewerin Multitec 540* (Figura N°20) que permitió definir los contenidos porcentuales volumétricos de metano, oxígeno, anhídrido carbónico y ácido sulfúrico.



Figura N° 20: Analizador de gases *Sewerin Multitec 540* usado para la determinación porcentual de biometano en el biogás generado.

En la Tabla N°11, se muestra la composición del biogás para cada relación de mezcla, siendo 1:3 la más óptima, ya que presentó 0.60 % de CH₄ en su composición; en segundo lugar, se encuentra la relación de mezcla 1:4 con 0.40 % de CH₄, y, por último, la muestra patrón 1:3 no presentó CH₄ en su composición a pesar que generó 498.8 ml de biogás los cuales fueron determinados por triplicado reportando las medias esperadas con un nivel de significancia del 95%.

La baja producción de metano en los ensayos de digestión anaeróbica está relacionada con el valor de pH, y esto se confirma por lo reportado por Varnero (2010) donde concluye que el proceso de digestión anaeróbica a pH inferiores a 6 tiende a una producción baja de biogás y pobre en metano provocando que se acumule CO₂ como principal componente en el biogás siendo totalmente indeseable trabajar en medios ácidos.

Tabla N° 11: Composición del biogás.

Relación de mezcla	%CH ₄	%CO ₂	%O ₂	H ₂ S (ppm)
1:3 (Sin Estiércol)	-	20	5.2	0
2:1*	-	-	-	-
1:1*	-	-	-	-
1:2*	-	-	-	-
1:3**	0.6	34	4.7	1
1:4	0.4	34	1.9	3

*Sin datos de composición de biogás; **promedio de dos medidas o ensayos de determinación de composición gaseosa en el biogás generado en cada botella.

4.6. Determinación del tipo de recolección selectiva.

En la Tabla N°12, se presenta un cuadro comparativo de los diferentes tipos de recolección selectiva donde se analizaron los indicadores de financiamiento, personal calificado y la gestión. Dado esto, se plantea que la recolección selectiva sea administrada por la Municipalidad Distrital de Cerro Colorado debido a que tiene mayor facilidad en la administración, cuenta con personal técnico calificado y a pesar de su escaso autofinanciamiento puede acceder al apoyo de ONGs y empresas privadas.

Tabla N° 12: Cuadro comparativo de los tipos de recolección selectiva.

Tipo de recolección selectiva	Indicadores		
	Financiamiento	Personal calificado	Gestión
Municipalidad	Conocimiento de los costos. Escasos mecanismos de autofinanciamiento.	Tenencia de un centro de acopio de residuos sólidos. Constante rotación de personal técnico capacitado.	Coordinación directa con las diferentes áreas de la municipalidad. Deserción de recicladores por el poco ingreso económico.
Asociación de recicladores formalizados	No cuenta con autofinanciamiento.	No cuentan con personal calificado.	Incumplimiento con los días y horarios de recojo. Pelea por rutas con mayor nivel de participación.
Mixto	Mayores gastos de recursos en comunicación y estrategias de implementación.	Personal calificado por la municipalidad.	Inconformidad de los recicladores formalizados por las zonas de trabajo asignados por la municipalidad.
ECRS	Servicio caro.	Cuenta con personal calificado.	Trámites largos y engorrosos para la implementación.

Asimismo, se asignaron competencias para los distintos actores que se observan en la Tabla N°13:

Tabla N° 13: Competencias de los actores involucrados.

Actores involucrados	Competencias
Municipalidad Distrital de Cerro Colorado	<ul style="list-style-type: none"> - Implementar el programa de segregación en la fuente y recolección selectiva de residuos sólidos en el MMM – Río Seco. - Ejecutar acciones de difusión, sensibilización y educación ambiental dirigida a los comerciantes. - Implementar el mecanismo de incentivos para la promoción de la segregación en la fuente. - Supervisar el cumplimiento de rutas y horarios durante la recolección selectiva de residuos sólidos. - Fiscalizar el adecuado manejo de residuos sólidos.
Los usuarios del servicio	<ul style="list-style-type: none"> - Comprometerse en realizar la segregación de los residuos sólidos al interior de su establecimiento y disponerlos correctamente en los contenedores del MMM – Río Seco. - Participar en las capacitaciones dadas por la municipalidad. - Pagar sus impuestos municipales.
Los operarios del servicio	<ul style="list-style-type: none"> - Cumplir con la normativa vigente y autorizaciones correspondientes establecidas por la municipalidad y el sector correspondiente. - Cumplir con las rutas, horarios y frecuencias de recolección de los residuos sólidos. - Contar en buenas condiciones el equipamiento (EPP, vehículos) necesario para realizar la actividad de recolección selectiva. - Remitir a la municipalidad un reporte indicando la cantidad de residuos recolectados.

4.7. Equipamiento para la segregación en la fuente y recolección selectiva de residuos sólidos y distribución de los dispositivos de almacenamiento.

En la Tabla N° 14, se comparan los diferentes tipos de dispositivos de almacenamiento en espacios públicos o privados. Se sugiere el uso de contenedores ya que no requieren alta inversión, es de fácil instalación y su capacidad de almacenamiento cumple con las necesidades del MMM – Río Seco. Se descartaron las demás opciones como los tachos circulares y pequeños por su poca capacidad de almacenamiento; asimismo el contenedor soterrado, el módulo y la estación de reciclaje no se escogieron porque necesitan una mayor inversión y espacio para su instalación.

Tabla N° 14: Cuadro comparativo de los dispositivos de almacenamiento.

Dispositivos de almacenamiento	Indicadores	
	Inversión	Capacidad de almacenamiento
Tachos circulares	Baja.	Entre 125 -150 L de capacidad.
Tachos pequeños	Baja.	Entre 28 L – 53 L de capacidad.
Contenedor	Media.	Entre 300 L – 1300 L de capacidad.
Contenedor soterrado	Alta.	Entre 3000 L – 5000 L de capacidad.
Módulo de reciclaje	Media.	Cada contenedor de 115 L de capacidad.
Estación de reciclaje	Alta.	Cada contenedor de 2000 L de capacidad.

Para la determinación del volumen de los contenedores se utilizó un 35% de contingencia del volumen de residuos sólidos generados en el MMM – Río Seco durante 2 días, siendo el volumen total de almacenamiento de 18.7 m³. Con el objetivo de evitar el uso de recipientes inapropiados en el almacenamiento y lograr la accesibilidad a todos los puestos de expendio se plantea la distribución equitativa de 23 contenedores de 700 L de capacidad para los residuos sólidos vegetales y 13 contenedores de 200 L de capacidad para el resto de residuos (Anexo N°08, pág. 84).

Se escogió un vehículo convencional debido a que tiene mejor acceso a la zona; asimismo, se sugiere el uso del modelo bicompartimentalizado por su tecnología en la recogida selectiva de residuos sólidos. A continuación, en la Figura N°21 se muestra el modelo del vehículo propuesto:



Figura N° 21: Vehículo bicompartimentado para la recolección.

El personal que realizará la recolección selectiva y transporte de residuos, deberá contar con los siguientes equipos de protección personal que se detallan en la siguiente tabla:

Tabla N° 15: Listado de equipos de protección personal.

Equipo de protección personal (EPP)	Características
Ropa de trabajo (uniforme)	Uniforme de tela drill color azulino u oscuro (mameluco o camisa y pantalón). Con cinta reflectiva de 2 pulgadas de ancho color plateado ubicado en: pecho, espalda, cintura y piernas (a la altura de la rodilla).
Zapatos (punta de acero)	Zapatos cerrados o zapatillas que faciliten el desplazamiento continuo.
Guantes	Guantes de nitrilo, para manipulación de residuos sólidos y/o guantes de cuero para manipulación de metales y vidrios.
Mascarilla	Mascarilla con filtro recargable.
Tapones auditivos	Tapones auditivos de espuma.

4.8. Determinación del diseño de rutas del sistema.

En las Figuras N° 22, 23 y 24, se establecieron las rutas de traslado, recolección y transporte, respectivamente. La ruta de traslado empieza en el Vivero Municipal de Cerro Colorado en el cual se guardan los vehículos compactadores, se toma la Vía de Evitamiento para llegar al MMM – Río Seco en un tiempo de llegada aproximado de 11 minutos haciendo un recorrido de 4.6 Km.

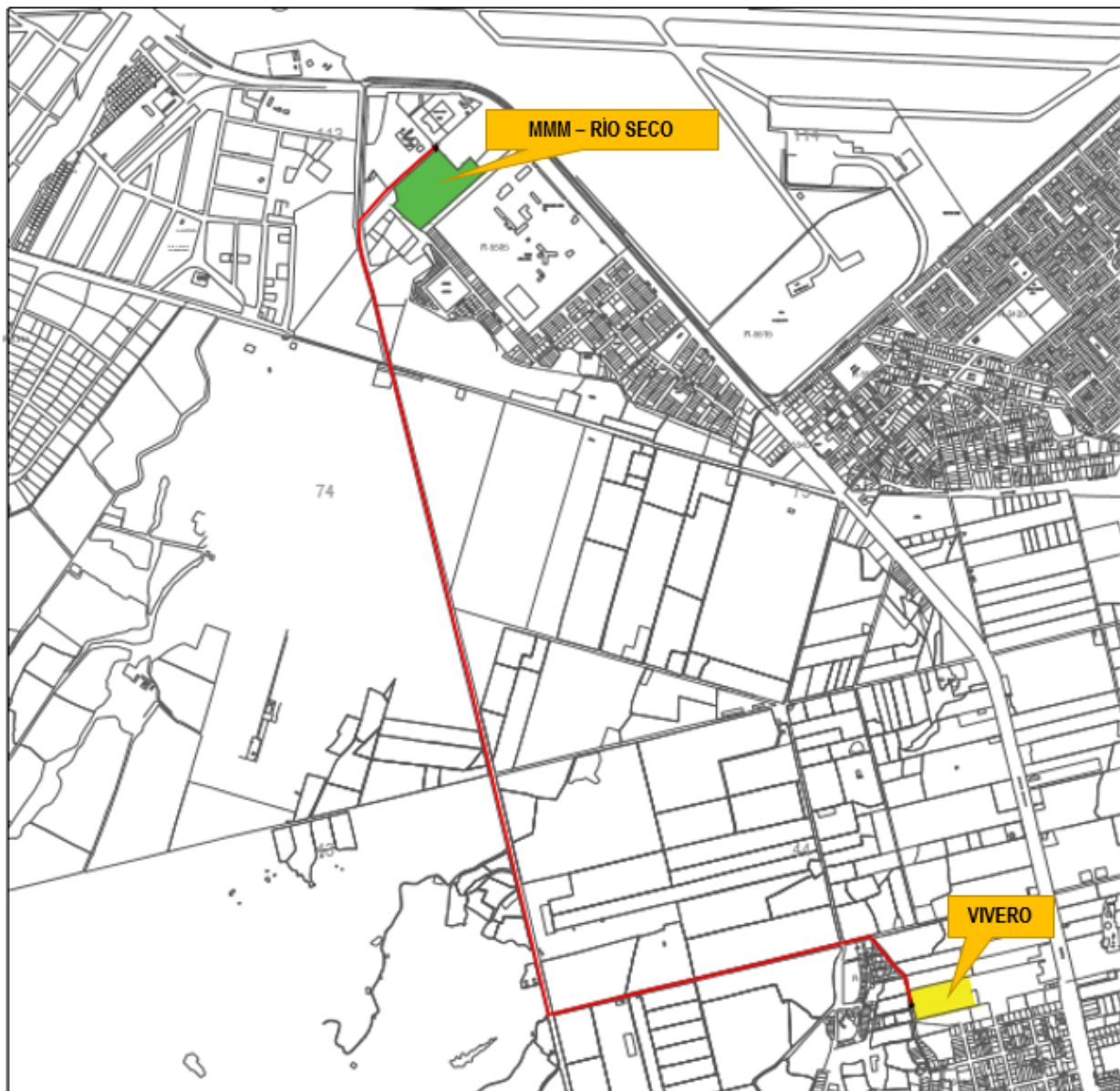


Figura N° 22: Ruta de traslado.

La ruta de recolección escogida es de tipo peine, ya que se pretende hacer la recolección en ambos lados de las vías y así evitar pérdidas de tiempo. El recorrido empieza en el pabellón C y terminando en el pabellón A, realizando un recorrido de 830 m en un tiempo estimado de 1h y 30 a 2 horas.



Figura N° 23: Ruta de recolección.

La ruta de transporte empieza una vez culminada la ruta de recolección en el mercado, se toma la Vía Evitamiento para luego entrar por la Av. Industrial y terminar en la Asoc. Parque Industrial de Río Seco donde se encuentra la Planta de Segregación y Tratamiento, teniendo un recorrido de 2.3 Km en un tiempo estimado de 7 min.

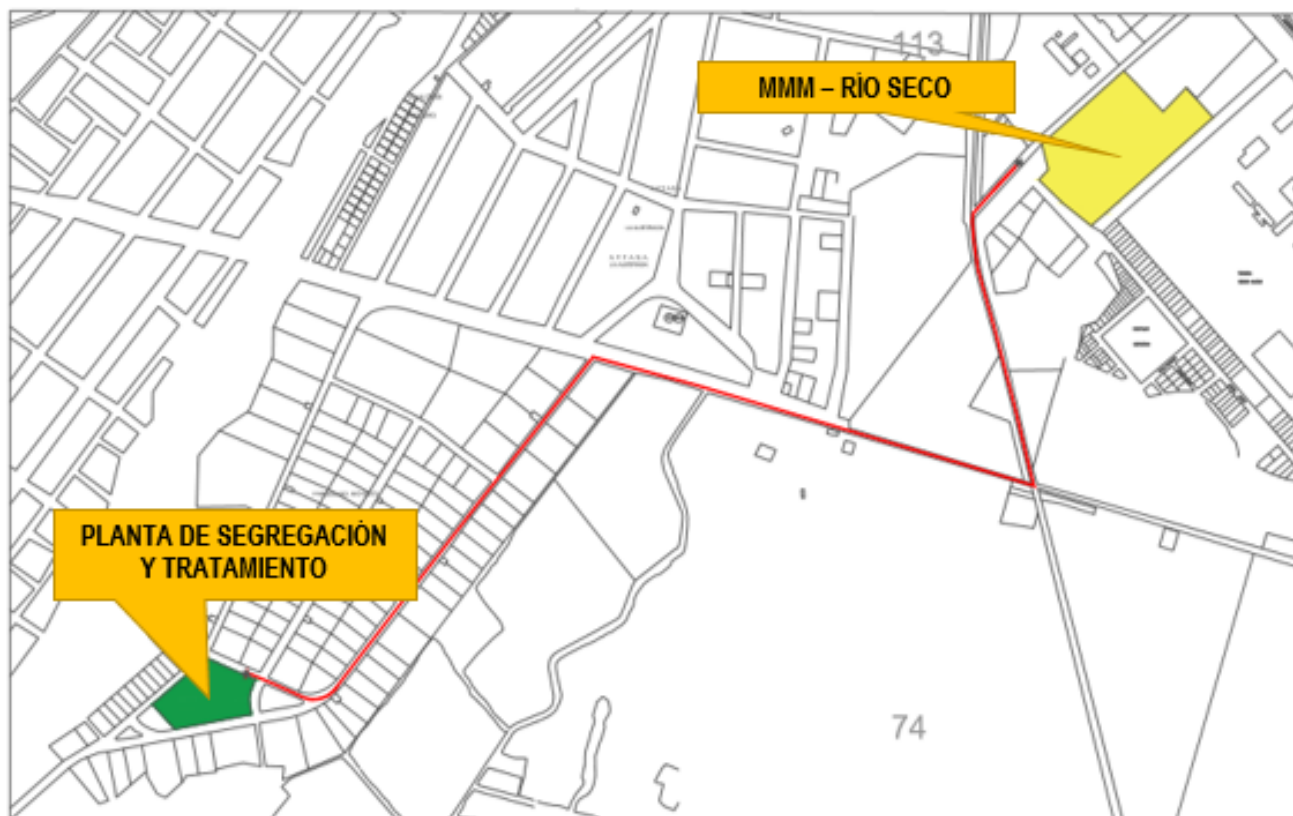


Figura N° 24: Ruta de transporte.

Según Sakurai (1980), la frecuencia de recolección recomendada para zonas comerciales es de 6 veces por semana. A continuación, se presenta una opción para el horario y la frecuencia de recolección de los residuos sólidos.

Tabla N° 16: Frecuencia y horario de recolección selectiva de los residuos sólidos.

Frecuencia	Día	Horario
Interdiaria	Lunes	12:00 pm a 1:30 pm.
	Miércoles	8:00 am a 10:00 am.
Interdiaria		1:00 m a 2:30 pm.
	Viernes	7:00 am a 9:00 am.
Interdiaria		1:00 pm a 2:30 pm.
	Domingo	11:00 am a 1:00 pm.

4.9. Diseño y dimensionamiento del sistema de tratamiento anaeróbico.

En la Tabla N°17, se muestran las características determinadas para las distintas partes del biodigestor, para ello se utilizó el spread – sheet (Anexo N°06, pág. 81).

Tabla N° 17: Características geométricas del sistema de biodigestión.

COMPONENTES	VOLUMEN (m³)	MEDIDAS (m)
Tanque de mezcla	84	L:8, A:7, H:1.5
Cámara de digestión	335	D: 10, H: 4.26
Domo de gas	137	D: 10, H: 1.74
Cámara de descarga	84	L:6, A:5, H:2.8
Gasómetro	340	D: 3.5, L: 18

A continuación, en la Tabla N°18 se describen cada uno de los componentes del sistema de biodigestión.

Tabla N° 18: Componentes del sistema de biodigestión.

Componentes	Descripción
Tanque de mezcla	Estará provisto de un sistema de alimentación del sustrato y de agua, para realizar las diluciones del material, además contará con un mecanismo de agitación para homogenizar la carga.
Cámara de digestión	La cámara de digestión tendrá un volumen de 335 m ³ , esta deberá ser impermeable al agua y al gas para evitar fugas, asimismo la cámara de digestión contará con un sistema de agitación mecánico mediante hélices para prevenir la sedimentación y acumulación de sólidos, así como para garantizar perfiles de temperatura constantes dentro del biodigestor, y una eficiente interacción entre microorganismos y el sustrato.
Domo de gas	Su construcción será en forma de cúpula y tiene un volumen de 137 m ³ , contará con una válvula de seguridad que estará conectada al gasómetro.
Cámara de descarga	Concluido el proceso de digestión anaeróbica, la mezcla ya digerida pasará a la cámara de descarga, donde el digestato será sometido a un proceso de separación sólido-líquido y posteriormente se estabilizará el biosol. Está cámara contará con una tubería de salida provista de filtros para el biol.
Gasómetro	Corresponde al almacenamiento final del biogás, y tiene un volumen de 340 m ³ .

En las Figuras N°25 y N°26, se observa la vista transversal y frontal del sistema de biodigestión, donde se señalan sus componentes.

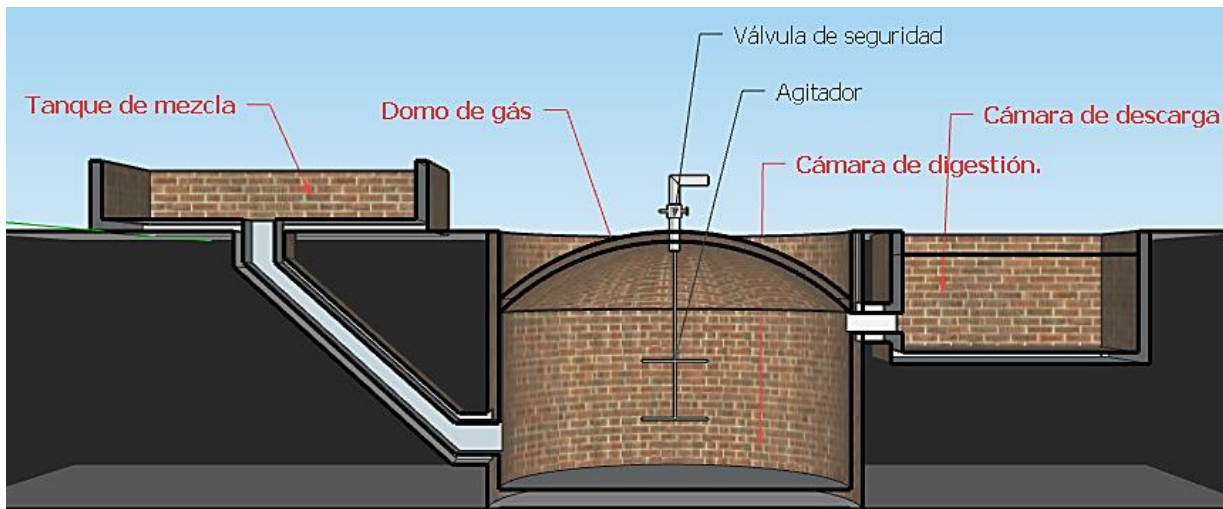


Figura N° 25: Vista transversal del biodigestor en 3D.

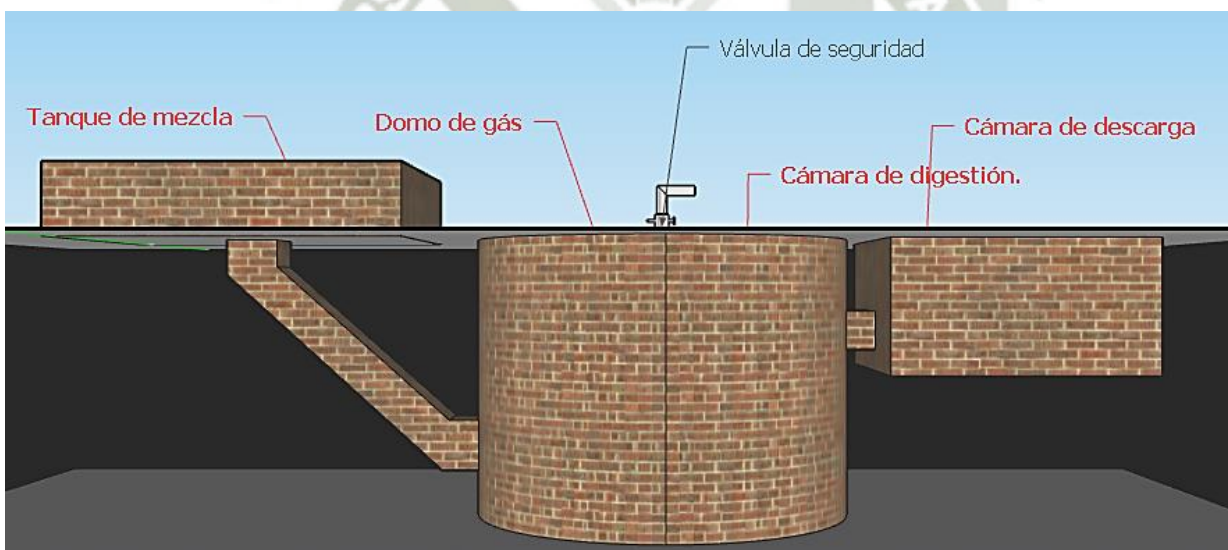


Figura N° 26: Vista frontal del biodigestor en 3D.

4.10. Diseño de la planta de tratamiento.

El diseño de la planta de tratamiento está localizado en el Parque Industrial de Río Seco (Figura N°27), en un terreno de 12881.496 m² administrado por la Municipalidad Distrital de Cerro Colorado que actualmente cuenta con un área para la segregación de residuos sólidos domiciliarios del distrito. En la Tabla N° 19, se muestran algunas características de la zona:

Tabla N° 19: Características principales de la zona.

Características	Datos
Coordenada de ubicación	Coordenada Este: 222804.14 m E Coordenada Norte: 8190094.52 m S
Clima	Clima semiárido. (Fuente: SENAMHI)
Zona de Vida	Matorral desértico - Montano Bajo Subtropical (Fuente: ARMA)
Acceso al agua	Red pública de agua potable. (Fuente: SEDAPAR) Canal de Zamácola. (Autoridad Nacional del Agua, 2012)



Figura N° 27: Localización de la planta de segregación y tratamiento. (Google Earth, 2017)

La planta de segregación y tratamiento tendrá una capacidad de operación de 160 m³ para un tiempo determinado de 20 días, y contará con las siguientes áreas debidamente organizadas:

- **Área de ingreso y salida:** Contando con una puerta peatonal para los trabajadores y otra vehicular.
- **Área de descarga y pesaje:** El ingreso de los residuos sólidos vegetales proveniente del sistema de recolección selectiva del MMM – Río Seco, inicia por el punto de control y pesaje del material. Luego se descarga en un área de recepción y se lleva a cabo una pre-selección de control de calidad de los residuos sólidos vegetales.

- **Área de almacenamiento de residuos sólidos vegetales:** Terminada la pre-selección de control de calidad, los residuos sólidos vegetales son llevados al área de almacenamiento que cuenta con un área de 456 m² donde se dispondrán en cubículos de 3.5 x 3.5 m.
- **Área de almacenamiento de estiércol:** el cual tendrá un área de 12 m², y se almacenará el estiércol vacuno procedente de la zona agrícola del distrito.
- **Área de pretratamiento:** Esta área se basará en un pre tratamiento mecánico como el de la trituración que mejorará el rendimiento de la digestión anaeróbica ya que reduce el tamaño de las partículas e incrementa la superficie específica disponible para las bacterias metanogénicas, y se realizará en un lugar cerrado a fin de evitar esparcimiento de partículas y reducir el ruido al exterior.
- **Área del sistema de biodigestión:** Tendrá un área de total de 235 m², que incluye los siguientes componentes: tanque de mezcla (56 m²), biodigestor (75 m²) y cámara de extracción (30 m²).
- **Área de almacenamiento de biogás:** Los gasómetros almacenarán aproximadamente 340 m³ de biogás, este gas deberá disponerse adecuadamente para su correcta disposición, manejo y aplicación.
- **Reservorio de agua:** Tendrá un volumen de 115 m³. El agua que se utilizará para el proceso de digestión anaeróbica provendrá del Canal Zamácola.
- **Reservorio de biol:** Contará con un volumen de 115 m³.
- **Área de segregación:** Actualmente esta área se encuentra implementada por la Municipalidad Distrital de Cerro Colorado para la segregación de residuos sólidos domiciliarios del distrito, cuenta con un área de 871 m². Dicha área se aprovechará para realizar la segregación de los residuos inorgánicos provenientes del MMM – Río Seco para su comercialización y/o reciclaje. Por otro lado, aquellos residuos provenientes del mercado que no se puedan aprovechar serán destinados al botadero controlado de Quebrada Honda.

- **Área administrativa:** El área administrativa posee un área de 19.5 m² e incluye un área de recepción (hall) de 3.7 m².
- **Servicios higiénicos:** Se encontrarán a lado de las oficinas administrativas y del área de segregación.
- **Estacionamientos:** Uno se encontrará a lado del área de descarga y pesaje, y el otro a lado del área de segregación.

Además, la planta de tratamiento deberá tener las siguientes medidas de seguridad:

- Señalización de las áreas y zonas de seguridad,
- Un mínimo de 06 extintores con carga vigente.
- Tres botiquines de primeros auxilios.
- Tres cilindros de 200 L con arena.
- Iluminación artificial para horario nocturno y luces de emergencia.

En el Anexo N°07 (pág. 82), se observa la distribución de las diferentes áreas y vías de transporte en el interior de la planta de segregación y tratamiento.

4.11. Definición del alcance del Plan de Manejo de Residuos Sólidos.

El área geográfica comprendida para el PMRS es el MMM – Río Seco y el periodo de planeamiento planteado es de 6 años, que comprenderá tres etapas: A) Corto plazo de 0 a 2 años; B) Mediano plazo de 3 a 4 años y C) Largo plazo de 5 a 6 años.

Asimismo, el tipo de residuo prioritario a tratar en el PMRS son los residuos sólidos del MMM – Río Seco, enfocándose en el tratamiento de residuos sólidos vegetales.

El PMRS permitirá la implementación del acondicionamiento, almacenamiento (contenedores), recolección (rutas), transporte (equipamiento), tratamiento (digestión anaeróbica) y disposición final.

4.12. Establecimiento los objetivos y metas del Plan de Manejo de Residuos Sólidos.

En la Tabla N° 20, se presenta un cuadro con el objetivo general y los objetivos específicos con sus respectivas metas e indicadores.

Tabla N° 20: Cuadro resumen de objetivo general, objetivos específicos, metas e indicadores.

Objetivo General	Objetivos Específicos	Metas	Indicadores
Implementar la gestión y el manejo de residuos sólidos del MMM – Río Seco.	Afianzar un programa de capacitación continua para desarrollar capacidades administrativas – financieras y capacidades técnico – operativas.	Al 2019, la Municipalidad Distrital de Cerro Colorado contará con (01) sistema de capacitación continua para el personal en materias administrativas – financieras y técnicas – operativas.	(01) sistema de capacitación
	Desarrollar programas de educación, capacitación y sensibilización ambiental a los comerciantes.	Al 2020, la Municipalidad Distrital de Cerro Colorado contará con (01) sistema de sensibilización que permita inculcar cultura ambiental en los comerciantes del MMM – Río Seco.	(01) sistema de sensibilización
	Implementar sistema de incentivos y sanciones para fomentar la segregación en la fuente.	Al 2020, la Municipalidad Distrital de Cerro Colorado contará con (01) plan de incentivos y sanciones.	(01) plan de incentivos y sanciones.
	Adquirir el equipamiento necesario para la recolección selectiva de residuos sólidos.	Al 2021, la Municipalidad Distrital de Cerro Colorado contará con (01) vehículo bicompartimentado para la recolección selectiva de residuos sólidos vegetales y con (23) contenedores de color marrón con capacidad de 1200 L y (13) contenedores de 300 L de capacidad.	(01) vehículo bicompartimentado, (23) contenedores de color marrón con capacidad de 1200 L y (13) contenedores de 300 L de capacidad
	Implementar el programa de segregación en la fuente, formando parte integral del PMRS.	Al 2022, se contará con un sistema de segregación en la fuente funcionando.	(01) sistema de segregación en la fuente funcionando.
	Implementar la planta de tratamiento de residuos sólidos vegetales.	Al 2022, se implementará la planta de tratamiento de residuos sólidos vegetales.	(01) infraestructura de tratamiento.

4.13. Elaboración de la matriz de actividades del Plan de Manejo de Residuos Sólidos.

En la Tabla N° 21, se presenta un cuadro resumen con las diversas actividades prioritarias a seguir a corto, mediano y largo plazo para cada línea de acción del PMRS, el cual abarca a los residuos sólidos generados en el MMM- Río Seco. Este plan sería ejecutado por la Municipalidad Distrital de Cerro Colorado por ello incluye actividades para fortalecer su gestión en RR.SSS.

Tabla N° 1: Matriz de actividades del Plan de Manejo de Residuos Sólidos.

Líneas de acción	Componente	Actividades	Cronograma de implementación		
			Corto plazo (0 a 2 años)	Mediano plazo (3 a 4 años)	Largo plazo (5 a 6 años)
Fortalecimiento de la Municipalidad	1) Desarrollar capacidades de Gerencia de Servicios Públicos	<p>Desarrollar un programa modular de capacitación teórico-práctica, dirigido a las autoridades, funcionarios y trabajadores municipales en gestión de residuos sólidos. Los temas prioritarios son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Educación ambiental. • Programa de seguridad y salud ocupacional. • Recolección y transporte de residuos sólidos. • Tratamiento de residuos sólidos vegetales. • Normatividad municipal. <p>Programar capacitaciones semestrales para el personal administrativo de la Sub Gerencia de Residuos sólidos en temas de operación técnica y financiera.</p> <p>Programar capacitaciones trimestrales para supervisiones técnico – operativo.</p>			
	2) Optimizar los servicios de residuos sólidos	<p>Equipar con 23 contenedores de capacidad de 700L y 13 contenedores de 200L, en las inmediaciones del Mercado Mayorista Metropolitano de Río Seco.</p> <p>Adquirir un vehículo bicompartimentado para la recolección selectiva de residuos.</p> <p>Cumplir el horario y las rutas, para la recolección de residuos sólidos en el mercado.</p>			
	3) Elaborar e implementar planes de aprovechamiento de residuos sólidos	<p>Implementar la planta de tratamiento de residuos sólidos vegetales.</p> <p>Segregar y reciclar los residuos inorgánicos provenientes del mercado.</p>			
	4) Implementar programa de sostenibilidad económica	<p>Calcular el costo real de la implementación del PMRS.</p> <p>Determinar los arbitrios de limpieza pública, que contemplen la posibilidad de aplicar incentivos a los buenos contribuyentes.</p> <p>Aprobar ordenanzas municipales que permitan promover la participación de la inversión privada.</p>			
Fortalecimiento de la Institucionalidad Municipal	1) Conformación del equipo de coordinación Municipal de residuos sólidos	<p>Consolidar el trabajo del Equipo de Coordinación Municipal de residuos sólidos.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Monitorear el cumplimiento del plan de trabajo. • Involucrar nuevos actores en el equipo. • Difundir los resultados del trabajo desarrollado por el equipo de coordinación. • Establecer mecanismos de renovación y participación de las organizaciones e instituciones en el equipo de coordinación. 			
	2) Difusión y socialización del PMRS	Realizar convenios con los comerciantes en busca de compromisos activos y objetivos.			
	3) Monitoreo, seguimiento, control y evaluación de la implementación del PMRS	<p>Monitorear la ejecución del plan.</p> <p>Modular la orientación del plan para el logro de los objetivos y metas planteadas.</p> <p>Analizar y evaluar la participación de los comerciantes en la gestión de los residuos sólidos en el MMM – Río Seco.</p>			
Educación y sensibilización ambiental	1) Sensibilización ambiental “Establecimiento por Establecimiento”	<p>Conformar un equipo técnico de sensibilizadores.</p> <p>Elaborar, imprimir y distribuir el material educativo.</p> <p>Promover la participación de los comerciantes del MMM- Río Seco en la segregación de residuos sólidos.</p>			
	2) Sensibilización a través de medios de comunicación masiva.	<p>Elaborar spots publicitarios y difundir permanentemente.</p> <p>Desarrollar programas de educación y sensibilización ambiental a los comerciantes.</p>			
	3) Fiscalizar el Servicio con Promotores de Vigilancia Ambiental.	<p>Conformar y reconocer a los Promotores de Vigilancia Ambiental.</p> <p>Capacitar a los promotores.</p> <p>Monitorear sus labores.</p>			

4.14. Elaboración del Plan de Monitoreo del PMRS.

Las actividades relacionadas a la recolección, transporte y disposición final de residuos sólidos, estarán a cargo de la Subgerencia de Residuos Sólidos de la Municipalidad Distrital de Cerro Colorado.

En la Tabla N°22, se propone indicadores para monitorear la ejecución y avance del PMRS y de las actividades más representativas de los sub-programas.

Tabla N° 2: Indicadores de avance del Plan de Manejo de Residuos Sólidos Vegetales.

Subprograma	Indicador	Unidad de medida
Reforzamiento de la municipalidad		
Desarrollo capacidades de Gerencia de Servicios Públicos.	N° de funcionarios y operarios capacitados.	% de funcionarios, técnicos y operarios capacitados.
Optimización de los servicios de residuos sólidos.	N° de contenedores y vehículos recolectores.	Unidad.
Elaboración e implementación de planes de aprovechamiento de residuos sólidos	Infraestructura construida e implementada.	01 infraestructura en funcionamiento.
	Cantidad de residuos sólidos vegetales aprovechados.	Toneladas/mes de residuos sólidos vegetales aprovechados.
	Cantidad de residuos sólidos inorgánicos aprovechados.	Toneladas/mes de residuos sólidos inorgánicos aprovechados.
Implementación de un programa de sostenibilidad económica	Estructura de costos para la implementación del PMRS.	01 Estructura de costos aprobada.
	Ingresos.	Nuevos soles/ año.
	Ordenanza municipal.	01 ordenanza municipal aprobada.
Fortalecimiento de la institucionalidad municipal		
Conformación del equipo de coordinación Municipal de residuos sólidos.	Equipo de coordinación municipal.	N° de participantes activos en el ECM
	Cumplimiento del Plan de Trabajo.	% de avance de cumplimiento del plan.
Difusión y socialización del PMRS	Reuniones de socialización con los comerciantes.	N° de reuniones ejecutados.
Monitoreo, seguimiento, control y evaluación de la implementación del PMRS	Cumplimiento de las actividades del Plan de Trabajo.	% de actividades ejecutadas.
Educación y sensibilización ambiental		
Sensibilización ambiental “Establecimiento por Establecimiento”	Equipo técnico de sensibilización.	N° de sensibilizadores en el equipo técnico.
	Comerciantes activos en la segregación de residuos sólidos.	N° de comerciantes que participan.
	Volumen de residuos aprovechados.	Toneladas/mes o m ³ /mes/recuperados.
Sensibilización a través de medios de comunicación masiva.	Programas de educación y sensibilización ambiental.	N° de programas ejecutados.
	Promotores ambientales en actividad.	N° de promotores ambientales en actividad.
Fiscalizar el Servicio con Promotores de Vigilancia Ambiental.	Capacitaciones para promotores ambientales.	N° de capacitaciones ejecutadas.

El Plan de Manejo de Residuos Sólidos propuesto fue dimensionado y valorado económicamente mediante el estimado detallado (+/- 5%) de su presupuesto presentado en la Tabla N°23 (a Diciembre 2017):

Tabla N° 21: Estimado del Presupuesto (Dic 2017) demandado por el PMRS discriminado por ítems y actividades.

Ítem	Actividades	Inversión		
		Unidad	Cantidad	Costo (S/.)
1	Capacitaciones			12,000.00
	Almacenamiento y recolección de los RR.SS en el MMM-Río Seco			
	Contenedores de 700 L	Unidad	23	20,700.00
	Contenedores de 200 L	Unidad	13	7,800.00
	Vehículo bicompartimentado	Unidad	1	740,000.00
2	Equipos de Protección Personal			
	Ropa de trabajo	Unidad	3	210.00
	Zapatos de seguridad	Unidad	3	105.00
	Guantes	Unidad	3	30.00
	Mascarillas	Unidad	3	40.00
	Tapones auditivos	Unidad	3	60.00
3	Construcción e implementación de la planta de tratamiento de R.S.V	Unidad	1	680,000.00
	Educación y sensibilización ambiental			
	Diseño y capacitación de sensibilizadores	Global	6	2,000.00
4	Campaña de sensibilización y concientización radial	Global	5	2,500.00
	Entrega de trípticos, Afiches y Calendarios	Global	1	2,400.00
	Pintado de murales en lugares estratégicos	Global	5	800.00
			Total (S/.):	1,468,645.00

El presupuesto total demanda una inversión total cercana a 1,5 millones de soles donde el costo del vehículo bicompartimentado (50.4 %) y la construcción e implementación de la Planta de tratamiento (46.3 %) resultaron ser los dominantes para su permitir su ejecución.

CONCLUSIONES

PRIMERA. – Se evaluó experimentalmente los tratamientos anaeróbico de los residuos sólidos vegetales generados en el Mercado Mayorista Metropolitano Río Seco (MMM – Río Seco) – Cerro Colorado y se determinó su enorme factibilidad de transformarlos en forma limpia en biometano permitiendo su adecuado manejo para resolver el problema ambiental de su generación descontrolada en su fuente.

SEGUNDA.- La caracterización experimental de residuos sólidos del MMM – Río Seco permitió concluir como resultado que la generación total diaria (GTD) es de 2.146 Tn/día, siendo el rubro de frutas el de mayor generación de residuos sólidos con 1733.04 Kg/día que equivale 80.8 % de GTD. En cuanto a la composición física de los residuos sólidos, los residuos sólidos vegetales representan el 83.4 %, el papel 4.8 %, los restos de comida 4 %, las bolsas 3.1 %, el plástico PET 2.2%, cartón 2 %, y en menor proporción se encuentra otros con 0.6 %. Los residuos sólidos vegetales analizados en laboratorio dieron los siguientes resultados: Humedad 82.94%, Sólidos Totales 17.06 %, Sólidos Volátiles 16.62 %, Densidad 1.055 gr/ml y Relación C/N de 32.57:1.

TERCERA. - Se determinó que es posible la producción de biogás a partir de los residuos sólidos vegetales en las siguientes condiciones: la relación de mezcla con mayor producción de metano fue de 1:3 (sustrato: agua) obteniendo 1059.47 ml de biogás con 0.6% de CH₄ en TRH de 20 días a temperatura mesofílica de 40°C y con un pH inicial y final de 4. Al sustrato se le agregó estiércol vacuno al 20% como iniciador de la digestión anaeróbica.

CUARTA. - El dimensionamiento del biodigestor discontinuo de cúpula fija, se llevó a cabo mediante cálculos con la utilización de fórmulas establecidas, obteniéndose como resultado un biodigestor de 471 m³ de capacidad (cámara de digestión con un volumen de 335m³ (D: 10 m, H: 4.26 m) y Domo de gas con un volumen de 137 m³ (D: 10 m, H: 1.74 m)).

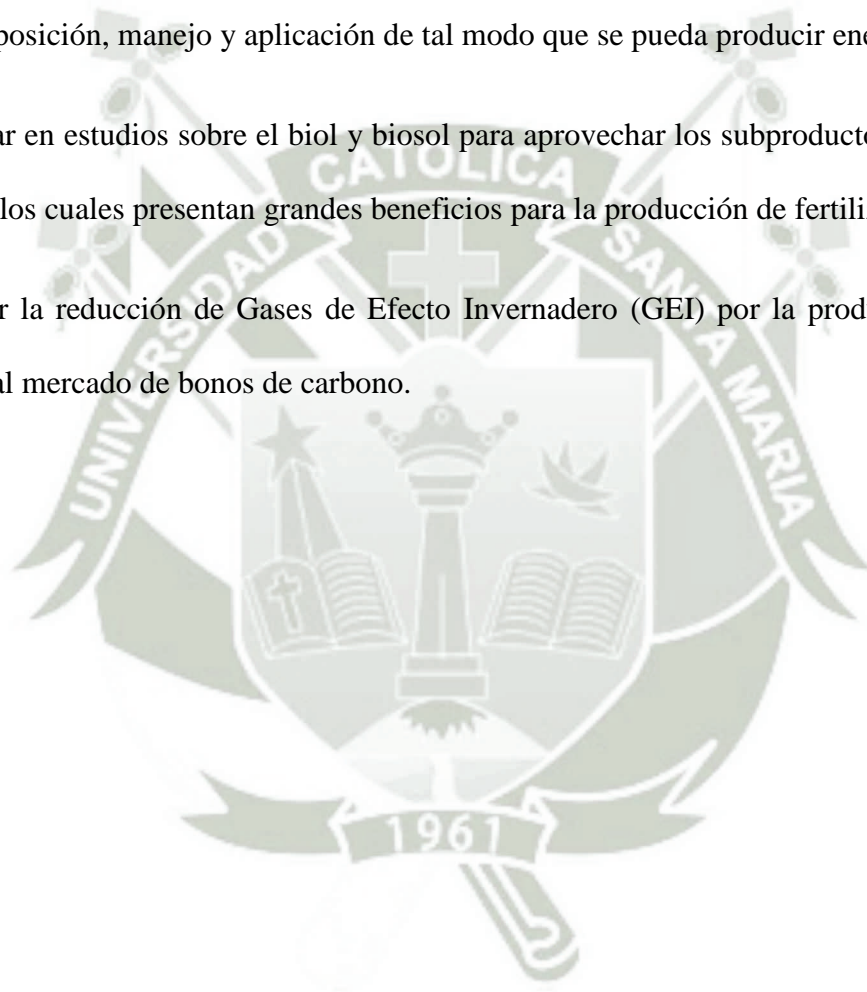
El diseño de la planta de tratamiento está localizado en el Parque Industrial de Río Seco, en un terreno de 12881.496 m² administrado por la Municipalidad Distrital de Cerro Colorado. En la distribución del plano se consideraron las siguientes áreas: área de ingreso y salida; área de descarga y pesaje; área de almacenamiento de residuos sólidos vegetales, área de almacenamiento de estiércol; área de pretratamiento, área del biodigestor, área de reservorios de agua y biol; área de segregación; área administrativa; servicios higiénicos y estacionamientos.

QUINTA. – Se identificó el sistema de segregación en la fuente como herramienta aplicable al manejo de residuos sólidos del MMM – Río Seco, el cual incluye el diseño de rutas y el equipamiento para la segregación en la fuente y recolección selectiva de residuos sólidos, siendo la Municipalidad Distrital de Cerro Colorado encargada de la administración.

SEXTA. - Para la aplicación de los resultados obtenidos en la presente investigación se necesitará implementar el Plan de Manejo de Residuos Sólidos del MMM – Río Seco que permite planificar y monitorear adecuadamente actividades administrativas y técnicas operativas establecidas en una matriz que incluye el fortalecimiento e institucionalidad de la Municipalidad Distrital de Cerro Colorado, así como la educación y sensibilización de los comerciantes del MMM – Río Seco.

RECOMENDACIONES

- Ampliar el área de intervención, que incluya los distintos centros de abastos del Distrito de Cerro Colorado para mejorar el manejo de residuos sólidos.
- Se recomienda regular el pH de la mezcla a valores cercanos a 7.
- Adaptar y ejecutar investigaciones para el aprovechamiento del biogás, desarrollando su correcta disposición, manejo y aplicación de tal modo que se pueda producir energía eléctrica
- Profundizar en estudios sobre el biol y biosol para aprovechar los subproductos de la digestión anaeróbica, los cuales presentan grandes beneficios para la producción de fertilizantes.
- Capitalizar la reducción de Gases de Efecto Invernadero (GEI) por la producción de biogás para entrar al mercado de bonos de carbono.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Autoridad Nacional del Agua. (2012). *Informe Técnico del Tercer Monitoreo Participativo en la Cuenca Quilca Chili*. Arequipa: ANA.
- Avendaño, D. (2010). *Diseño y construcción de un biodigestor anaerobio de flujo pistón que trate los residuos generados en una explotación ganadera de la localidad de Loja, Ecuador, empleando tecnologías apropiadas*. Loja: Universidad Politécnica de Madrid .
- Brusi, E. ; Navaz, M. (2017). *Informe técnico para la construcción de sistemas de tratamiento y aprovechamiento de residuos del café*. Cajamarca: Ingeniería Sin Fronteras.
- Calla, P. (3 de Abril. de 2017). Entrevista al Gerente de la Sub Gerencia de Gestión de Residuos Sólidos del distrito de Cerro Colorado. (Tesisista., Entrevistador)
- Campos, E. ; Elías, X. y Flotats, X. . (2012). *Procesos Biológicos: la digestión anaerobia y el compostaje*. En X. Castells, *Tratamiento y Valorización Energética de Residuos*. Madrid: Díaz de Santos.
- Cendales, E. (2011). *Producción de biogás mediante la codigestión anaeróbica de la mezcla de residuos cítricos y estiércol bovino para su utilización como fuente de energía renovable*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Cepero, L. ; Savran, V. ; Blanco, D. ; Díaz, M. ; Suárez, J y Palacios, A. . (2012). Producción de biogás y bioabonos a partir de efluentes de biodigestores. *Pastos y Forrajes*, 219-226.
- Chhotu D. Jadia and M. H. Fulekar. (2008). Vermicomposting of vegetable waste: A biophysicochemical process based on hydro-operating bioreactor. *African Journal of Biotechnology*, 3723-3730.
- Clean up the world. (Mayo de 2008). *A limpiar el mundo*. Obtenido de <http://www.cleanuptheworld.org>
- Cuesta, J. ; Martín, F. ; Vicente, G. & Villar, S. . (2011). *Informe de vigilancia tecnológica madri+d "Situación actual de la producción de biogás y de su aprovechamiento"*. Madrid : Fundación madri+d para el Conocimiento .
- Escalera, M., Padilla, L. y García, A. (2012). *Un estudio empírico sobre los proyectos MDL en granjas porcícolas*.
- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR). (2010). *Guía sobre el biogás: Desde la producción hasta el uso*. Gülzow: Deutsches BiomasseForschungsZentrum (DBFZ).
- Flores, J. (2010). *Plan piloto de biodigestores para el aprovechamiento de las heces de porcino obteniendo biogás y biofertilizante*. Santiago de Chile: Universidad de Las Américas.
- García, A; Gómez J. (2016). *Evaluación de la producción de biogás a partir de residuos vegetales obtenidos en la central de abastos de Bogotá mediante digestión anaerobia*. Bogota: Fundación Universidad de America.
- García, A; Gómez J. (2016). *Evaluación de la producción de biogás a partir de residuos vegetales obtenidos en la central de abastos de Bogotá mediante digestión anaerobia*. Bogota: Fundación Universidad de America.

- González, D. (2011). *Diseño y fabricación de un prototipo para la obtención de biogás*. Distrito Federal: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Gutiérrez, G. de J.; Mondaca, I.; Meza, M.; Fuentes, A.; Balderas, J. de J. y Gortáres, P. (2012). Biogás: una alternativa ecológica para la producción de energía. *Ide@s CONCYTEG*, 7(85), 881-894.
- Hermida, H. ; Arrieta, G. (2014). *Plazas de mercado en Bogotá, generadoras de residuos y desarrollo*. Bogotá: Congreso Nacional del Medio Ambiente.
- ICONTEC - AENE. (2003). *Guía para la implementación de sistemas de producción de biogás*. Bogotá: Unidad de Planeación Minero Energética .
- Instituto Nacional de Salud . (2016). *VIGILANCIA DE RESIDUOS SÓLIDOS*. Lima.
- Kiss Köfalus, G.; Encarnación, G. (2006). Los productos y los impactos de la descomposición de residuos sólidos urbanos en los sitios de disposición final. *Revista Gaceta Ecológica*, 39-51.
- Lorenzo, Yaniris; Obaya, Ma Cristina. (2005). La digestión anaerobia. Aspectos teóricos. Parte I. *Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*, 35-48.
- Martí, J. (2008). *Guía de diseño y manual de instalación de biodigestores familiares*. Cochabamba: GTZ PROAGRO.
- Miembros de la Mesa de Biogás. (2010). *El sector agroindustrial en España*. Madrid: Dirección General de Recursis Agrícolas y Ganaderos.
- Ministerio del Ambiente. (2011). *Plan Nacional de Acción Ambiental 2011-2021*. Lima.
- Ministerio del Ambiente. (2013). *Diagnóstico de los Residuos Sólidos del Perú*. Lima: Ministerio del Ambiente.
- Ministerio del Ambiente. (2015). *Guía Metodológica para el Desarrollo del Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos Municipales*. Lima: Ministerio del Ambiente.
- Ministerio del Ambiente. (2015). *Guía metodológica para el desarrollo del Plan de Manejo de Residuos Sólidos*. Lima.
- Ministerio del Ambiente. (2015). *Guía metodológica para el desarrollo del Plan de Manejo de Residuos Sólidos*. Lima: Ministerio del Ambiente.
- Ministerio del Ambiente. (2015). *Guía Metodológica para Implementar un Programa de Segregación en la Fuente y Recolección Selectiva de Residuos Sólidos Municipales*. Lima: Ministerio del Ambiente.
- Ministerio del Ambiente. (2015). *Introducción de Biodigestores en Sistemas Agropecuarios en el Ecuador*. Quito: Ministerio del Ambiente.
- Ministerio del Ambiente. (9 de Junio de 2016). *INFOCARBONO*. Obtenido de <http://infocarbono.minam.gob.pe/reportes-sectoriales/reporte-sectorial-de-gases-efecto-invernadero/desechos/>
- Minsiterio del Ambiente. (2015). *Guía Metodológica para el Desarrollo del Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos Municipales*. Lima.

- Monnet, F. (2003). *An Introduction to Anaerobic Digestion of Organic Wastes*. Scotland: Remade Scotland.
- Municipalidad Provincial de Arequipa. (2015). *Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos Municipales del Distrito de Arequipa 2015*. Arequipa: Municipalidad Provincial de Arequipa.
- Olaya, Y. ; Gonzáles, L. (2009). *Fundamentos para el diseño de biodigestores*. Palmira.
- Olaya, Y. (2006). *Diseño de un biodigestor de cúpula fija*.
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental. (2014). *Fiscalización ambiental en residuos sólidos de gestión municipal provincial*. Lima: Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2010). *La función de los mercados mayoristas en los centros urbanos de Colombia*. Bogotá: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- Ramírez, G. (2016). *Valoración de la producción de biogás durante un proceso de digestión anaerobia con contenido rumial de origen bovino bajo condiciones de tiempo, carga y temperatura diferenciales*. Manizales: Universidad de Manizales.
- Rapport, J. ; Zhang, R. ; Jenkins, B. ; Williams, R. (2008). *Current Anaerobic Digestion Technologies Used for Treatment of Municipal Organic Solid Waste*. Sacramento: California Environmental Protection Agency.
- Sadzawka, A.; Carrasco, M.; Grez, R. y Mora M. (2005). *Métodos de análisis de compost*. Santiago: Instituto de Investigaciones Agropecuarias.
- Sakurai, K. (1980). *Diseño de rutas de recolección de residuos sólidos*. Lima: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias de Ambiente.
- Sakurai, K. (1982). *Hoja de Divulgación Técnica 17: Método sencillo del análisis de residuos sólidos*. Lima: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.
- Soldoviere, T. (2017). *Física General: Una introducción a los fluidos, vibraciones y termodinámica*. Maracaibo.
- Sub Gerencia de Gestión de Residuos Sólidos del distrito de Cerro Colorado. (2016). *Plan de Manejo de Residuos Sólidos de la Municipalidad de Cerro Colorado - 2016*. Arequipa.: Municipalidad Distrital de Cerro Colorado. .
- Sub Gerencia de Gestión de Residuos Sólidos del distrito de Cerro Colorado. (2016). *Resumen del peso de residuos sólidos del volquete EGM-077 - 2016*. Arequipa.
- Sudharsan Varma, V. & Kalamdhad. (2015). Evolution of chemical and biological characterization during thermophilic composting of vegetable waste using rotary drum composter. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 1.
- Toala, E. (2013). *Diseño de un biodigestor de polietileno para la obtención de biogás a partir del estiércol de ganado en el rancho Verónica*. Riobamba: Escuela superior Politécnica de Chimborazo.
- Varnero, M. (2011). *Manual del Biogás*. Santiago de Chile: FAO.

Walas, S. (2004). *Rules of Thumb: Selecting and Designing Equipment*. New York: Acces Intellingence.

Zagal, E. & Sadzawka, A. (2007). *Protocolo de métodos de análisis para suelos y lodos*. Concepción: Universidad de Concepción.

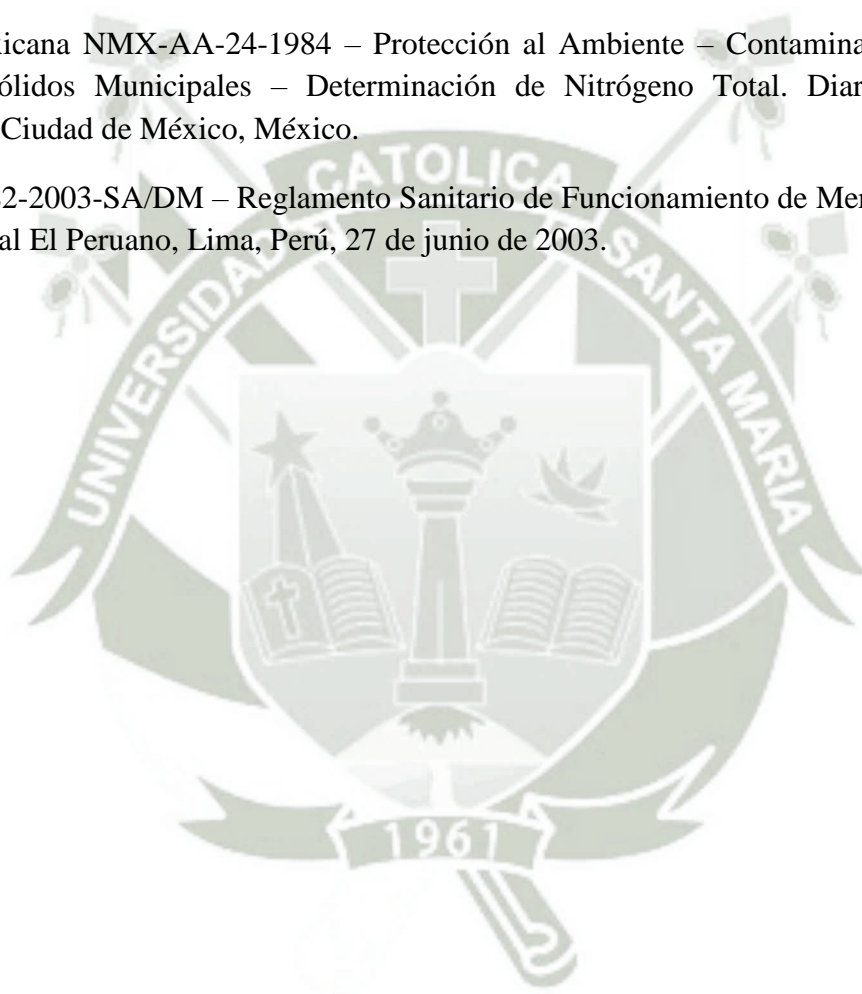
Zepeda, D. y Amaya, F. (2013). *Diseño de planta de tratamiento de desechos orgánicos para la generación y aprovechamiento de biogás*. Santa Tecla.

Ley N°27314 – Ley General de Residuos Sólidos. Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú, 20 de julio de 2000.

D.S. 057-2004-PCM – Reglamento de la Ley General de Residuos Sólidos. Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú, 18 de junio de 2004.

Norma Mexicana NMX-AA-24-1984 – Protección al Ambiente – Contaminación del Suelo – Residuos Sólidos Municipales – Determinación de Nitrógeno Total. Diario Oficial de la Federación, Ciudad de México, México.

R. M. N° 282-2003-SA/DM – Reglamento Sanitario de Funcionamiento de Mercados de Abasto. Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú, 27 de junio de 2003.



ANEXOS

ANEXO N° 01: Permisos.



Universidad Católica de Santa María

(51 54) 382038 Fax: (51 54) 251213 ✉ ucsm@ucsm.edu.pe <http://www.ucsm.edu.pe> Apartado: 1350

AREQUIPA - PERÚ

“IN SCIENTIA ET FIDE ERIT FORTITUDO NOSTRA”
(En la Ciencia y en la Fe está nuestra Fortaleza)

Arequipa, 06 de junio del 2017

CARTA N° 044-EPIA-2017

Señor
CRISTOBAL SANTIAGO HUAYAPA MAMANI
Presidente de la Asociación de Comerciantes del Mercado
Mayorista Metropolitano de Río Seco-Cerro Colorado
Presente.-

De mi especial consideración:

Tengo a bien dirigirle el presente para llevarle el saludo Institucional de la Universidad Católica de Santa María de Arequipa, y en especial de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, y a la vez presentarle a las señoritas bachilleres:

PATRICIA YOHANA AGUILAR VIZCARRA Y KELLY ALEJANDRA CAMPOS HITO

Las mencionadas, se encuentran desarrollando el plan de tesis titulado: “PLAN DE MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS VEGETALES DEL MERCADO MAYORISTA METROPOLITANO DE RÍO SECO, DISTRITO DE CERRO COLORADO, PROVINCIA Y REGIÓN AREQUIPA”. Por tal motivo, le solicito se sirva brindar el permiso para la toma de muestras de los residuos sólidos del Mercado Mayorista de Río Seco.

Asimismo, le solicitamos se sirva brindar el permiso para la caracterización de residuos sólidos en un espacio libre del Mercado Mayorista de Río Seco, garantizando el orden durante esta actividad, además le requerimos el préstamo de una balanza de 30 kg.

Por la atención que le merezca la presente y por las facilidades que brinde a nuestras señoritas bachilleres para el cumplimiento de su cometido, desde ya, le manifestamos nuestro agradecimiento.

Conocedores de su amplio espíritu de colaboración, hago propicia la ocasión para reiterar los sentimientos de mi mayor consideración y deferencia personal.

Atentamente.

MGM/DEPIA
C.e. Arch.
C.v.

ASOC. DE COMERCIANTES DEL MERCADO MAYORISTA
METROPOLITANO DE RÍO SECO
CERRO COLORADO/AREQUIPA

Cristobal Santiago Huayapa Mamani
DIRECCIÓN

Recibido 06-06-2017
14.20 Hrs

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

M. Guillén
Ing. MILAGROS SOCORRO GUILLEN MALAGA
DIRECTORA DE LA ESCUELA PROFESIONAL
DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Objetos de entrega



OFICINA DE TRÁMITE DOCUMENTARIO

REGISTRO DE EXPEDIENTE

TRÁMITE: 170606M117
DOCUMENTO: CARTA S/N
ASUNTO: PERMISO PARA TOMA DE MUESTRAS DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DEL MERCADO MAYORISTA RÍO SECO
DESTINO: GERENCIA DE SERVICIOS A LA CIUDAD Y AMBIENTE
FECHA: 06/06/2017 02:26:33 p.m.
TELÉFONO: 382590#100
WEB: www.municerroc Colorado.gov.pe
DN/RUC: 20141637941
NOMBRE: UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
DIRECCION:
TELÉFONO: 944989030
OBSERVACION:
CONTRASEÑA: 88475

Universidad Católica de Santa María

ucsm@ucsm.edu.pe http://www.ucsm.edu.pe Apartado: 1350

"¡FORTITUDO NOSTRA"
(¡esta nuestra Fortaleza)



Arequipa, 06 de junio del 2017



Atención por: emamanir



Saludo Institucional de la Universidad Católica de la Profesional de Ingeniería Ambiental, y a la vez

A Y KELLY ALEJANDRA CAMPOS HITO

Plan de tesis titulado: "PLAN DE MANEJO DE MERCADO MAYORISTA METROPOLITANO COLORADO, PROVINCIA Y REGIÓN

AREQUIPA". Por tal motivo, le solicito se sirva brindar el permiso para la toma de muestras de los residuos sólidos del Mercado Mayorista de Río Seco.

Asimismo, solicitamos una previa coordinación con el responsable de limpieza pública y acordar la hora del recojo de las bolsas de basura resultantes de la caracterización de residuos sólidos, la que durará 7 días, desde el martes 20 al lunes 26 de junio del presente, en el horario de 07:30 a 12:00 horas.

Por la atención que le merezca la presente y por las facilidades que le brinde a nuestras señoritas bachilleres para el cumplimiento de su cometido, desde ya, le manifestamos nuestro agradecimiento.

Conocedores de su amplio espíritu de colaboración, hago propicia la ocasión para reiterar los sentimientos de mi mayor consideración y deferencia personal.

Atentamente.

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Ing. MILAGROS SOCORRO GUILLEN MALAGA
DIRECTORA DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

MGM/DEPIA
C.c. Arch.
C.v.

Coordinar con: -sr. Marcelino Chocoma, chofer volquete (077)
-sr. Huber Medrano operador de Retiracarro de basura
Personas de Limpieza pública (señoras)

MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE CERRO COLORADO
Prof. Pascual E. Calla Gaspar
Sub Gerente de Gestión de Residuos Sólidos

ANEXO N°02: Cálculo del número de la muestra.

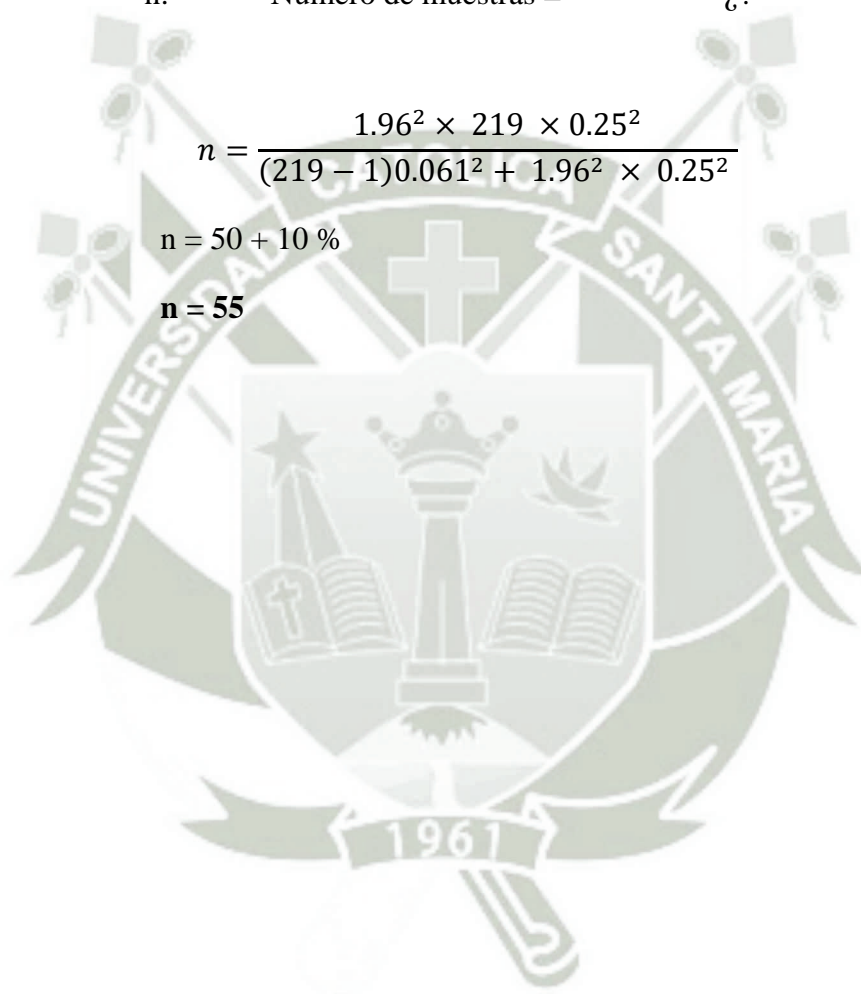
Se utilizó la ecuación N°1:

N:	Total de establecimientos =	219
$Z_{1-\alpha/2}$:	Nivel de confianza =	1.96
σ :	Desviación estándar =	0.25
E:	Error permisible =	0.061
	Porcentaje de contingencia =	10 %
n:	Número de muestras =	¿?

$$n = \frac{1.96^2 \times 219 \times 0.25^2}{(219 - 1)0.061^2 + 1.96^2 \times 0.25^2}$$

$$n = 50 + 10 \%$$

$$\mathbf{n = 55}$$



ANEXO N°03: Generación de residuos sólidos del mercado.

Tabla N° 22: Generación total de residuos sólidos.

Rubro	N° de Puestos	Generación promedio por puesto (Kg/puesto/día)	Generación total por rubro (Kg/rubro/día)
Frutas	166	10.37	1722.50
Abarrotes	36	9.46	340.77
Verduras	9	7.10	63.93
Comida	8	0.94	7.58
Total de puestos	219	Generación Total de Residuos	2134.79

Tabla N° 23: Generación per-puesto.

N°	Código	Rubro.	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Promedio de generación por puesto
			Kg.	Kg.	Kg.	Kg.	Kg.	Kg.	Kg.	Kg/puesto/día.
1	A-01	Frutas	2.9	9.95	12.3	15.5	10.5	20.1	18.6	12.83
2	A-02	Frutas	10.5	15.9	12.28	14.55	11.3	16.4	16.25	13.882
3	A-03	Frutas	24.6	42.7	30.8	51.3	48.14	60.45	22.89	40.12
4	A-04	Frutas	0.05	2	8.65	8.9	6.7	9.8	5.65	5.96
5	A-05	Frutas	2.6	1.75	0.4	4.4	5.1	6.2	3.05	3.35
6	A-06	Frutas	0.5	1.4	0.6	0.1	-	2.15	1.1	0.83
7	A-07	Frutas	2.1	4.05	5.7	3.9	4.7	5.89	2.45	4.11
8	A-08	Frutas	3.6	2.8	4.6	3.55	1.9	5.2	3.3	3.56
9	A-09	Frutas	4.7	1.55	-	5.9	-	6.1	3.8	3.15
10	A-10	Frutas	5.2	3.66	1.8	5.1	2.64	6.8	4.2	3.67
11	A-11	Frutas	1.98	4.7	3.5	5	2.99	6.6	2.6	3.91
12	A-12	Frutas	2	-	1.05	0.4	1.64	3.75	2.15	1.57
13	B- 01	Frutas	0.9	2.4	-	3	1.7	3.9	2	1.98
14	B-02	Frutas	15.6	29.6	21.37	11.2	-	30.6	12.7	17.29
15	B- 03	Frutas	2.5	1.3	0.6	6.7	5.2	7.9	4.45	4.09
16	B- 04	Frutas	4.4	3.2	-	4.65	5.3	-	7	3.50
17	B- 05	Frutas	5.1	-	4.75	4.2	3.9	6.85	7.55	4.62
18	B- 06	Frutas	4.55	3.2	3.98	6.25	5.67	7.15	5.33	5.16
19	C- 01	Frutas	58.5	98.7	60.39	123.6	69.75	97.65	96.1	86.38
20	C-02	Frutas	30.6	39.45	61.2	42.08	38.7	68.3	53.5	47.69
21	C- 03	Frutas	15.45	48.05	53.45	39.45	51.2	67.9	48.3	46.25
22	C- 04	Frutas	13.6	26.04	15.32	22.34	9.26	19.22	6.38	13.83
23	C- 05	Frutas	6.56	7	8	6.74	5.82	16.74	-	7.26
24	C- 06	Frutas	2.66	3.81	2.3	4.15	9.34	12.94	4.47	5.66
25	C- 07	Frutas	7.43	8.74	3.85	8.34	3.8	7.3	5.64	6.44
26	C- 08	Frutas	11.2	12.86	7.48	11.66	8.68	13.68	6.76	10.33
27	E- 01	Frutas	2.44	7.35	4.15	5.98	5.03	7.68	-	4.66
28	E- 02	Frutas	2.8	10.22	11.3	12.65	9.66	14.7	-	8.76
29	E- 03	Frutas	2.5	7.8	10.25	3.6	2.44	13.38	8.4	6.91
30	F-01	Frutas	5	5.04	4.92	5.53	4.26	12.74	6.24	6.24
31	F-02	Frutas	1.24	8.55	5.26	1.75	1.89	9.95	6.23	4.98

32	F-03	Frutas	5.1	2.68	2.75	4.5	3.58	8.76	2.56	4.27
33	F-04	Frutas	16.45	5.8	10.72	8.56	13.6	17.94	12.12	12.17
34	F-05	Frutas	-	1.3	2.12	1.42	2.2	4.06	1.9	1.85
35	F-06	Frutas	0.34	0.2	0.15	-	0.4	1.73	0.44	0.46
36	F-07	Frutas	0.76	6.84	1.15	5.05	4.14	7.26	3.5	4.10
37	F-08	Frutas	2.25	1.65	0.95	2	1.2	4.54	2.2	2.11
38	H-01	Frutas	0.34	0.51	1.4	0.52	0.67	1.56	0.42	0.77
39	H-02	Frutas	-	3.55	4.95	2.2	3.12	5.7	3.4	3.27
40	H-03	Frutas	15.5	1.95	0.65	1	3.16	16.4	0.8	5.63
41	H-04	Frutas	0.55	1.7	1.7	4.95	3.56	6.12	0.48	2.72
42	H-05	Frutas	6.58	5.88	12	8.1	10.28	14.9	7.64	9.34
GENERACIÓN PROMEDIO DE PUESTOS DE FRUTAS										10.44
43	D-01	Abarrotes	2.62	3.15	2.46	1.98	2.83	4.96	2.8	2.97
44	D-02	Abarrotes	45.6	49.12	36.84	42.98	30.7	55.26	31.98	41.78
45	D-03	Abarrotes	1.3	0.9	0.6	0.98	0.56	2.95	1.56	1.26
46	D-04	Abarrotes	24.22	30.27	32.69	36.33	20.58	48.44	23	30.79
47	D-05	Abarrotes	0.83	0.62	0.44	1.78	0.9	2.1	1.4	1.15
48	D-06	Abarrotes	2.8	0.6	1.6	0.95	2.6	3.55	3.1	2.17
49	D-07	Abarrotes	1.65	1.3	0.84	1.25	1.8	2.62	1.56	1.57
50	D-08	Abarrotes	2.18	1.92	1.85	0.7	1.35	3.1	2.25	1.90
51	D-09	Abarrotes	0.65	1.32	1.68	0.9	1.15	2.95	2.4	1.57
GENERACIÓN PROMEDIO DE PUESTOS DE ABARROTES										9.47
52	D-10	Comida	1	0.55	0.9	1.55	0.8	1.86	-	0.95
53	D-11	Comida	-	1.2	0.75	1.4	0.9	1.5	0.86	0.94
GENERACIÓN PROMEDIO DE PUESTOS DE COMIDAS										0.95
54	J-01	Verdura	4.45	4.45	2.05	3.9	6.9	12.4	8	6.02
55	J-02	Verdura	5.2	5.86	4.89	7.2	8.6	16	9.56	8.18
GENERACIÓN PROMEDIO DE PUESTOS DE VERDURAS										7.10

Tabla N° 24: Datos experimentales de densidad aparente in situ.

Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Densidad Promedio (Kg/ m ³)
243.80	305.37	299.21	337.85	293.77	246.37	341.07	295.35

ANEXO N°04: Datos experimentales de los parámetros de los residuos sólidos vegetales.

Tabla N° 25: Datos experimentales de humedad.

N° de muestra	Humedad (%)
1	82.57 %
2	83.31 %
Humedad Promedio	82.94 %

Tabla N° 26: Datos experimentales de sólidos totales.

N° de muestra	Sólidos Totales (%)
1	17.43 %
2	16.69 %
Sólidos Totales Promedio	17.06 %

Tabla N° 27: Datos experimentales de sólidos volátiles.

N° de muestra	Sólidos Volátiles (%)
1	17.62 %
2	15.62 %
Sólidos Volátiles Promedio	16.62 %

Tabla N° 28: Datos experimentales de densidad aparente en laboratorio.

N° de muestra	Peso de la muestra (gr)	Volumen inicial (ml)	Volumen final (ml)	Densidad (gr/ml)
1	25.30	150	174	1.054
2	25.36	150	174	1.056
	Densidad Promedio			1.055

Tabla N° 29: Datos experimentales de la relación C/N de los residuos sólidos vegetales.

N° de muestra	Materia orgánica (%)	Carbono orgánico (%)	Nitrógeno total (%)	Relación C/N
1	96	53.33	1.55	34.41
2	92.77	51.54	1.67	30.86
	Relación C/N Promedio.			32:57

ANEXO N°05: Datos experimentales de los biorreactores.

Tabla N° 30: Relaciones de mezcla de los biorreactores.

Relación de mezcla	Sustrato		Agua	
	Residuos vegetales	Estiércol (20%)		
1:3 Sin estiércol	112.5 gr	92.4 %F 7.6 % V	-	337.5 ml
1:1	180 gr	97.5 %F 2.5 % V	45 gr	225 ml
1:2	120 gr	97.7 % F 2.3 % V	30 gr	300 ml
1:3	90 gr	95.6 % F 6.4 % V	22.5 gr	337.5 ml
1:4	72 gr	96.8 % F 3.2 % V	18 gr	360 ml
2:1	240 gr	95.6 % F 4.4 % V	60 gr	150 ml

Tabla N° 31: Relación de carbono y nitrógeno del estiércol vacuno.

Carbono orgánico. (%)	Nitrógeno total. (%)	Relación C/N
30	1.3	25 : 1

Fuente: (Varnero, 2011)

Tabla N° 32: Relación de carbono y nitrógeno de la mezcla estiércol vacuno y los residuos sólidos vegetales.

Se utilizó la ecuación N°11:

C: % de carbono orgánico de los residuos sólidos vegetales =	52.44 %
N: % de nitrógeno orgánico de los residuos sólidos vegetales =	1.61 %
Q: Peso fresco de los residuos sólidos vegetales =	90 gr.
C: % de carbono orgánico del estiércol vacuno =	30 %
N: % de nitrógeno orgánico del estiércol vacuno =	1.33 %
Q: Peso fresco del estiércol vacuno =	22.5 gr.

$$K = \frac{52.44 \times 90 + 30 \times 22.5}{1.61 \times 90 + 1.33 \times 22.5}$$

Relación C/N

30.98 : 1

ANEXO N°06: Dimensionamiento del biodigestor

Libro1 - Excel (Error de activación de productos)

ARCHIVO INICIO INSERTAR DISEÑO DE PÁGINA FÓRMULAS DATOS REVISAR VISTA

Calibri 11 A A Ajustar todo General Celda de co... Buena Celda vincula... Incorrecto Entrada

Portapapeles Fuente Alineación Número Estilos

M25

DISEÑO DEL BIODIGESTOR DISCONTINUO DE CAMPANA FIJA.

Ingreso de datos.			Calculos			Resultados		
Generación total de R.S	2146	Kg/día				Volumen Real	471	m ³
Generación de R.D.O	1716.8	Kg/día				Cámara de digestión	334.41	m ³
						Domo de gas	136.59	m ³
Carga diaria.								
	Peso (Kg)	Densidad (Kg/m ³)						
Generación de R.D.O	1717	1055	Volumen de R.D.O	2.00	m ³			
Cantidad de agua.	5151	1000	Volumen de agua	5.15	m ³			
Estiercol	345	1045	Volumen de estiercol	0.33	m ³	Tanque de mezcla	84	m ³
Total	7211		Total	8.00	m ³	Cámara de extracción	84	m ³
			Volumen diario	8.00	m ³			
			Volumen diario	10	m ³	Gasómetro Biogas	340	m ³
Factor de seguridad	25							
Factor empírico	0.7		Cámara de digestión	10.0	m ³			
TRH	20		Domo de gas	4	m ³			
H/D	5		Total	14	m ³			
			Diámetro	2	m			
			Altura	6.0	m			
			Área	3	m ²			
			Área	60	m ²			
			Área	75	m ²			
			Diámetro Real	10	m			
			Altura Real	6.0	m			
			Volumen Real	471	m ³			
			Mezcla (Kg)	Cantidad de Biogas (m ³)				
			0.45	0.00106				
				Cantidad de CH ₄ (m ³)				
			0.45	0.00000636				
			144228	2.0				

Hoja1

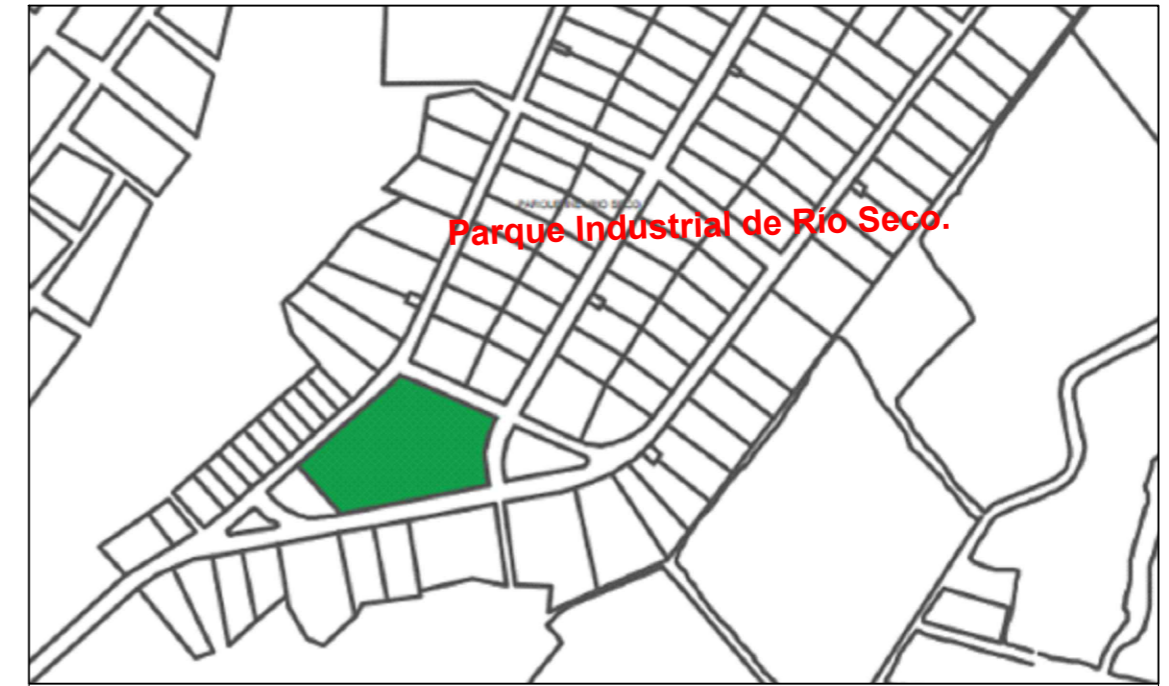
LISTO

Figura N° 28: Spread –sheet en hoja Excel 2013.



ANEXO N°07:

Distribución de la planta de segregación y tratamiento



Mapa de Ubicación



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
FACULTAD DE ARQUITECTURA, INGENIERÍA CIVIL Y DEL AMBIENTE

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL


PLANO
DISTRIBUCIÓN DE LA PLANTA DE SEGREGACIÓN Y TRATAMIENTO

ESCALA
1:500

FECHA
09/11/17

N° DE LÁMINA




01



Anexo N° 08: Distribución de contenedores



LEYENDA

-  Contenedor de residuos sólidos vegetales. (700L)
-  Contenedor del resto de residuos sólidos. (200L)
-  Ruta de recolección.
-  Inicio de la ruta de recolección.
-  Final de la ruta de recolección.



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
FACULTAD DE ARQUITECTURA, INGENIERÍA CIVIL Y DEL AMBIENTE

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL
PLANO
DISTRIBUCIÓN DE CONTENEDORES EN EL MMM - RÍO SECO

ESCALA
1:500

FECHA
09/11/17

N° DE LÁMINA

02

ANEXO N° 09: Galería Fotográfica.



a)



b)



c)

Figura N° 29: Caracterización de residuos vegetales. a) Pesaje de las muestras; b) Determinación de la densidad in situ; c) Segregación por tipo de residuo.



a)



b)



c)

Figura N° 30: Preparación de mezcla. a) Trituración de los residuos sólidos vegetales mediante un homogeneizador electromecánico; b) Biorreactor con sustrato y agua; c) Biorreactores correctamente sellados y herméticos.



a)

b)

Figura N° 31: Subproductos de la digestión anaeróbica. a) biol; b) biosol.

