



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

La Universidad Católica de Loja

ÁREA TÉCNICA

TITULACIÓN DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES

**Sistema de biodigestores para el aprovechamiento de residuos orgánicos en
el Parque Recreacional Jipiro de la ciudad de Loja.**

TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN

AUTOR: León Vanegas, Valeria Lizbeth

DIRECTOR: Jaramillo Pacheco, Jorge Luis, Ing.

LOJA – ECUADOR

2015

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN

Ingeniero.

Jorge Luis Jaramillo Pacheco

DOCENTE DE LA TITULACIÓN

De mi consideración:

El presente trabajo de fin de titulación: “Sistema de biodigestores para el aprovechamiento de residuos orgánicos en el Parque Recreacional Jipiro de la ciudad de Loja” realizado por León Vanegas Valeria Lizbeth, ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, Abril del 2015

f)

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

“Yo, León Vanegas Valeria Lizbeth, declaro ser el autor del presente trabajo de fin de Titulación: “Sistema de biodigestores para el aprovechamiento de residuos orgánicos en el Parque Recreacional Jipiro de la ciudad de Loja”, de la Titulación de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones, siendo Jorge Luis Jaramillo Pacheco, Ing. Director del presente trabajo; y eximimos expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además certificamos que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Adicionalmente declaramos conocer y aceptar la disposición del Art. 88 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realicen a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”

f.....

Autor: León Vanegas Valeria Lizbeth

Cédula 1104502578

DEDICATORIA

A mi hijo Mathias Sebastián, por ser mi inspiración, mi alegría y mis ganas de luchar, a mi gordo Juan Francisco, por ser mi amigo y mi compañero, por escucharme, apoyarme y ser la fuerza para terminar este logro.

A mi madre que con sus consejos y apoyo incondicional me ha formado para ser una gran mujer a través de su ejemplo y valentía con la vida, a seguir mis sueños que han dado frutos y me ha ayudado a llegar donde estoy.

A mi padre por enseñarme a caminar diariamente.

A mis abuelitos que con su ejemplo han plasmado en mis actos la persona que soy.

A mi abuelita Paquita, quien considero mi segunda madre, por apoyarme económicamente, escucharme y ser mi soporte cuando pensé decaer, su ilusión puesta en mí me hizo terminar.

A mis hermanos, David y José Pablo, quienes con su ejemplo y palabras de aliento han estado siempre conmigo.

A mis tíos, quienes con sus críticas constructivas y apoyo de cada uno de maneras diferentes, me llevaron a esforzarme cada día más y a demostrarles de que si puedo.

A mis primas Gabriela, Alejandra y Dayanna, quienes las considero mis hermanas y amigas, por escucharme cuando lo necesité y esforzarme por ser su ejemplo.

Valeria

AGRADECIMIENTO

Mi más profundo y más sincero agradecimiento al director de nuestro proyecto de fin de titulación, el Ing. Jorge Luis Jaramillo quien con su apoyo, esfuerzo, dedicación, conocimientos y orientación hizo que este proyecto se realice de la mejor manera.

Así mismo agradecer a la Universidad Técnica Particular de Loja por permitirme ser parte de ella y terminar mi carrera en esta prestigiosa universidad.

A el GAD de Loja, quien me ha brindado toda la colaboración y apoyo para terminar con este proyecto.

A los Ingenieros de la titulación de Electrónica y Telecomunicaciones que nos brindaron sus conocimientos durante toda la carrera universitaria.

Valeria

ÍNDICE DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN	i
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS.....	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	v
LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE TABLAS	ix
RESUMEN EJECUTIVO.....	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN.....	3
CAPÍTULO 1.....	4
1. APROVECHAMIENTO DE FUENTES RENOVABLES DE ENERGÍA EN EL PARQUE RECREACIONAL JIPIRO DE LA CIUDAD DE LOJA: CARACTERIZACIÓN DEL PARQUE E IDENTIFICACIÓN PRELIMINAR DE FUENTES APROVECHABLES DE ENERGÍA. ...	4
1.1. Introducción.....	5
1.2. Metodología propuesta para atender el periodo del GADM de Loja.....	5
CAPÍTULO 2.....	8
2. CARACTERIZACIÓN DEL PARQUE E IDENTIFICACIÓN PRELIMINAR DE FUENTES APROVECHABLES DE ENERGÍA	8
2.1. Un poco de historia.....	9
2.2. Zonificación del Parque Recreacional Jipiro.	9
2.3. Sobre el Proyecto de las culturas.	10
2.3.1. Las culturas europeas, asiáticas y africanas.....	11
2.3.2. Las culturas Americanas.....	12
2.4. Sobre el complejo deportivo.	12
2.5. Otras Facilidades del PRJ.	12
2.6. Identificación preliminar de las fuentes renovables de energía aprovechables en el territorio del PRJ.	12
CAPÍTULO 3.....	14
3. EVALUACIÓN DE LA POTENCIALIDAD DE APROVECHAMIENTO DE BIOMASA EN EL PARQUE RECREACIONAL JIPIRO.....	14
3.1. Introducción.....	15

3.2.	Evaluación de la potencialidad de aprovechamiento de las fuentes renovables de energía.	15
3.3.	Potencialidades de aprovechamiento de biomasa	15
CAPÍTULO 4.	18
4.	ESTADO DEL ARTE SOBRE EL APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS EN PARQUES Y ESPACIOS PÚBLICOS.....	18
4.1.	Introducción.....	19
4.2.	Revisión del estado del arte.....	19
4.2.1.	Gestión actual de los residuos generados en el PRJ.....	19
4.2.2.	Sobre el aprovechamiento de residuos en otros parques y espacios públicos	20
4.2.3.	A manera de conclusión	23
4.3.	A manera de propuesta para el aprovechamiento de energía humana en el PRJ	23
CAPÍTULO 5.	26
5.	DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA DE BIODIGESTORES PARA EL APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS ORGÁNICOS EN EL PARQUE RECREACIONAL JIPIRO DE LA CIUDAD DE LOJA.....	26
5.1.	Introducción.....	27
5.2.	Caracterización del residuo orgánico disponible para el aprovechamiento en el PRJ.	27
5.2.1.	Tipos de residuos orgánicos disponibles en el PRJ.	27
5.2.2.	Sobre los residuos de cultivo disponibles en el PRJ.	27
5.2.3.	Sobre los residuos de granja disponibles en el PRJ.	28
5.2.4.	Sobre las aguas residuales disponibles en el PRJ.....	28
5.3.	Dimensionamiento del sistema de biodigestores a utilizar en el PRJ para aprovechamiento de los residuos orgánicos.	29
5.3.1.	Volumen de mezcla entregado al sistema de biodigestores.....	29
5.3.1.1.	Para los residuos de cultivo.....	29
5.3.1.2.	Para los residuos de granja.....	30
5.3.1.3.	Para aguas residuales.....	30
5.3.2.	Sobre el almacenamiento de gas en el sistema de biodigestores.....	31
5.4.	Diseño constructivo del sistema de biodigestores propuesto para operar en el PRJ.	31
5.4.1.	Arquitectura del sistema.....	32
5.4.2.	Emplazamiento del sistema.....	33
5.4.3.	Operación del sistema de biodigestores.....	35
5.4.3.1.	Sobre los residuos de granja.....	35
5.4.3.2.	Sobre los residuos de cultivo.....	35

5.4.3.3.	Sobre las aguas residuales.....	36
5.4.3.4.	Sobre el biogás producido.	36
5.4.3.5.	Sobre el agua producida.....	36
5.4.3.6.	Sobre el humus producido.....	36
5.4.3.7.	Sobre los insumos requeridos	36
5.4.3.8.	Sobre algunas variables que influyen en el desempeño de los biodigestores.....	37
5.4.3.9.	Sobre el mantenimiento del sistema de biodigestores	38
CONCLUSIONES		39
BIBLIOGRAFÍA.....		40
ANEXOS.....		42
I.	INTRODUCCIÓN	43
II.	METODOLOGÍA PROPUESTA PARA LA IDENTIFICACIÓN DE FUENTES RENOVABLES DE ENERGÍA, POTENCIALMENTE APROVECHABLES EN EL PRJ	43
III.	CARACTERIZACIÓN DEL PARQUE E IDENTIFICACIÓN PRELIMINAR DE FUENTES APROVECHABLES DE ENERGÍA	44
IV.	EVALUACIÓN DE LA POTENCIALIDAD DE APROVECHAMIENTO DE BIOMASA EN EL PRJ44	
IV.	ESTADO DEL ARTE SOBRE EL APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS EN PARQUES Y ESPACIOS PÚBLICOS	45
V.	DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA DE BIODIGESTORES PARA EL APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS ORGÁNICOS EN EL PRJ	48
VI.	CONCLUSIONES	52
VII.	REFERENCIAS.....	52

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. Metodología de trabajo de la mesa conformada.....	6
Figura 2.1. Zonificación del PRJ.	10
Figura 3.1. Contenedores metálicos en forma de botella ubicados en el PRJ.....	16
Figura 3.2. Panorámica de una de las baterías sanitarias repartidas en el territorio del PRJ.	16
Figura 3.3. Panorámica de la zanja de deposición de los desechos orgánicos en el PRJ.	17
Figura 3.4. Propuesta para aprovechamiento de los residuos orgánicos en el PRJ. Diseño del grupo de trabajo.	17
Figura 4.1. Deposición final de los residuos orgánicos en el PRJ.	20
Figura 4.2. Panorámica de la planta de compostaje entomológico de Terra Natura Benidorm.	21
Figura 4.3. Panorámica del sistema AVAC	21
Figura 4.4. Contenedores del programa 3R del parque La Carolina	22
Figura 4.5. Panorámica de la estación de aprovechamiento de residuos orgánicos y aguas residuales propuesta para el PRJ.	24
Figura 4.6. Ubicación de Biodigestor en el Parque Jipiro	25
Figura 5.1. Ubicación de los establos en el territorio del PRJ.....	28
Figura 5.2. Ubicación de las baterías sanitarias en el territorio del PRJ.	29
Figura 5.3. Arquitectura propuesta para el sistema de biodigestores para el aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos en el PRJ.....	32
Figura 5.4. Vista de planta de la obra civil propuesta para el emplazamiento del sistema de biodigestores en el PRJ.	33
Figura 5.5. Detalles de la obra civil propuesta para el emplazamiento del sistema de biodigestores en el PRJ.	34
Figura 5.6. . Vista panorámica del emplazamiento del sistema de biodigestores en el PRJ.	34
Figura 5.7. Vista panorámica lateral del sistema de biodigestores en el PRJ.....	35

LISTA DE TABLAS

Tabla 4.1. Tabla comparativa de las iniciativas para el aprovechamiento de residuos orgánicos en parques y espacios públicos.....	23
Tabla 4.2. Presupuesto de inversión en la implementación del biodigestor	25
Tabla 5.1. Producción esperada de biogás en el PRJ.	31
Tabla 5.2. Tiempo de Retención según temperatura.....	37

RESUMEN EJECUTIVO

En este trabajo se describe los resultados obtenidos al diseñar un sistema de biodigestores para aprovechamiento de residuos orgánicos en el Parque Recreacional Jipiro, de la ciudad de Loja.

PALABRAS CLAVES: aprovechamiento de residuos orgánicos, parques y espacios públicos, energía, energía renovable.

ABSTRACT

In this paper the results to design a system of biodigesters for use of organic waste in the Jipiro Recreational Park, the city of Loja described.

KEYWORDS: use of organic waste, parks and public spaces, energy, renewable energy.

INTRODUCCIÓN

En el mes de septiembre del 2014, el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal (GADM) de Loja solicitó a la Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL), el apoyo técnico en una serie de iniciativas de desarrollo local.

En el grupo de actividades priorizadas se incluyó la conformación de una mesa de trabajo alrededor del aprovechamiento de energía de fuentes renovables en el Parque Recreacional Jipiro (PRJ), ubicado al centro norte de la ciudad.

En este documento se describe los resultados obtenidos al diseñar un sistema de biodigestores para el aprovechamiento de residuos orgánicos en el PRJ.

Este trabajo consta de cuatro capítulos: En el capítulo se describe la metodología propuesta para identificar las fuentes renovables de energía, potencialmente aprovechables en el PRJ.

En el segundo capítulo se explica la caracterización del parque, y, se identifica de forma preliminar las fuentes aprovechables de energía.

En el tercer capítulo se describe el estado del arte sobre el aprovechamiento de los residuos en parques y espacios públicos.

Y, finalmente, en el cuarto capítulo se dimensiona un sistema de biodigestores para el aprovechamiento de residuos orgánicos en el PRJ.

CAPÍTULO 1

APROVECHAMIENTO DE FUENTES RENOVABLES DE ENERGÍA EN EL PARQUE RECREACIONAL JIPIRO DE LA CIUDAD DE LOJA: CARACTERIZACIÓN DEL PARQUE E IDENTIFICACIÓN PRELIMINAR DE FUENTES APROVECHABLES DE ENERGÍA.

1.1. Introducción.

En el mes de septiembre de 2014, el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal (GADM) de Loja solicitó a la Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL), el apoyo técnico en una serie de iniciativas de desarrollo local. En el grupo de actividades priorizadas se incluyó la conformación de una mesa de trabajo alrededor del aprovechamiento de energía de fuentes renovables en el Parque Recreacional Jipiro (PRJ), ubicado al centro norte de la ciudad.

En este documento se presentan los primeros resultados obtenidos, en torno a la caracterización del parque y la identificación de fuentes renovables de energía existentes en el territorio, potencialmente aprovechables.

1.2. Metodología propuesta para atender el periodo del GADM de Loja.

Aceptado el pedido del GADM de Loja, en la UTPL se decidió conformar mesas de trabajo, integradas por delegados de la universidad y del GADM.

En relación al aprovechamiento de fuentes renovables de energía en el PRJ, se encargó a la Sección de Telecomunicaciones y Electrónica (STE) del Departamento de Ciencias de la Computación y Electrónica (DCCE) la coordinación de la mesa de trabajo, invitándose también a investigadores del Departamento de Arquitectura y Artes (DAA). En el GADM de Loja, la representación se asignó a la Dirección de Electrónica y Telecomunicaciones. Conformada la mesa de trabajo, se diseñó y aprobó una aproximación metodológica para responder a los requerimientos planteados (ver Fig. 1.1).

La etapa de caracterización del parque e identificación de fuentes renovables de energía, se propuso para actualizar la información disponible sobre el PRJ, y, en base a la observación directa en el territorio, identificar las fuentes renovables de energía potencialmente aprovechables para potenciar procesos actuales o por implementar en el parque.

Con la intención de optimizar los recursos disponibles, se decidió plantear una etapa de revisión bibliográfica del estado del arte en el aprovechamiento de energía de fuentes renovables en espacios públicos, que permita identificar las mejores prácticas en funcionamiento en espacios similares.

Culminadas las 2 primeras etapas, los resultados obtenidos serán socializados con los delegados del GADM, a fin de obtener una priorización desde la perspectiva municipal. Las propuestas priorizadas pasarán a una etapa de ingeniería de detalle, cuyo resultado será la elaboración de esquemas mecánicos, electrónicos, eléctricos, de obra civil, entre otros.



Figura 0.1. Metodología de trabajo de la mesa conformada.

Fuente: Diseño de autores.

En función de la disponibilidad de recursos para financiar las obras requeridas, se aperturarán las etapas de implementación y gestión.

Para la ejecución de las etapas metodológicas propuestas, en UTPL se conformó un equipo de trabajo integrado por 10 estudiantes de la titulación de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones (IET), que aceptaron apoyar en la iniciativa como parte de su trabajo de fin de titulación. La subdivisión de este equipo de trabajo, permitirá profundizar en el análisis de las diversas formas de energía renovable existentes en el parque.

CAPÍTULO 2

CARACTERIZACIÓN DEL PARQUE E IDENTIFICACIÓN PRELIMINAR DE FUENTES APROVECHABLES DE ENERGÍA

2.1. Un poco de historia.

El PRJ se ubica en el barrio del mismo nombre, al norte de la ciudad de Loja (Ecuador), y, posee una extensión de 10 Ha, donadas a la ciudad de Loja por el filántropo Daniel Álvarez Burneo.

En la década de los años sesenta del siglo pasado, el entonces Alcalde la ciudad, Dr. Vicente Burneo, abrió la posibilidad de que la propiedad se destine a la construcción de un espacio de recreación y entretenimiento.

En la década de los ochenta, se realizó la primera intervención planificada para la dotación de la infraestructura física necesaria, bajo el motivo de la interculturalidad. En esta etapa, la laguna existente fue conectada mediante un canal con la quebrada de Jipiro.

Oficialmente, el PRJ nació en 1988 durante la alcaldía del Dr. José Bolívar Castillo. Se desarrolló el concepto de parque temático, edificando infraestructura recreacional, educacional y/o administrativa que reproduzca la arquitectura representativa de algunos países y regiones. En el territorio del PRJ, a través de un recorrido lúdico que conjuga arquitectura y esparcimiento, la ciudadanía se acerca al conocimiento de los núcleos culturales más destacados en el mundo.

2.2. Zonificación del Parque Recreacional Jipiro.

Existen 2 zonas claramente definidas, separadas por el río Zamora, y articuladas a través de un nodo comunicador en forma de un puente peatonal (ver Fig. 2.1). En estas zonas coexisten los monumentos temáticos (proyecto de las culturas), y, los espacios recreativos y de competencia deportiva. El flujo de visitantes en las zonas se dirige a través de senderos, con la respectiva señalética y equipados con mobiliario urbano.

El acceso al PRJ se realiza desde las 3 vías que circunvalan el territorio (Av. Salvador Bustamante Celi, Av. Velasco Ibarra y Pasaje "H").



Figura 0.1. Zonificación del PRJ.

Fuente: Diseño de autores.

2.3. Sobre el Proyecto de las culturas.

El proyecto de las culturas se desarrolla en dos sectores del PRJ, separados por el río Zamora. La parte oriental, con una mayor extensión de terreno, se refiere a las culturas de Europa, Asia y África, mientras que la occidental está dedicada a las culturas de América.

2.3.1. Las culturas europeas, asiáticas y africanas.

La Catedral de San Basilio, templo ortodoxo localizado en la Plaza Roja de la ciudad de Moscú, en la Federación de Rusia, es famosa por sus cúpulas en forma de cebolla. La reproducción existente en el PRJ, posee resbaladeras que descienden de las torres y las cúpulas, y, se destina para entretenimiento. Dentro del proyecto de las culturas se considera el monumento representativo del arte de los pueblos eslavos [1].

Junto a la laguna se sitúa la reproducción de una pagoda china, edificio de varios niveles, común en varios países asiáticos, construido con fines religiosos (especialmente en la fe budista). La réplica se conoce como muelle bar, y, en ella se ofrece comida típica y comida rápida. En el proyecto de las culturas se considera el monumento representativo del arte de los pueblos orientales [1].

En la reproducción de una mezquita árabe (dedicada al culto islámico), funcionan las oficinas administrativas del PRJ, y, un planetario y un telescopio. Se considera el monumento representativo de los pueblos de Asia media [1].

Hacia el centro del PRJ se ubica un escenario para representaciones artísticas y de teatro, que reproduce un templo indomaláico, propio de la cultura india, tailandesa, y, malaya [1].

A orillas del río Jipiro, se levante una réplica de un castillo eurolatino, como aquellos construidos en Europa, entre los siglos V y XV, en la época medieval. En esta edificación opera una videoteca, una biblioteca, y, una computeca [1].

Los chozones de estilo bantú, reflejan las características propias de los pueblos del Sahara africano, y, en el PRJ sirven para el expendio de comidas típicas de la región de Loja [1].

Una réplica de la torre Eiffel, símbolo de Paris (edificada para la Exposición Mundial de 1889) cobija un mesa de ping pong al aire libre.

2.3.2. Las culturas Americanas.

La réplica del Templo de las Monjas de Yucatán, uno de los más bellos y mejor conservados de la cultura Maya, sirve como mirador de los sectores aledaños, y tiene un sistema de resbaladeras para el entretenimiento de los niños.

Además se destaca la presencia de réplicas del Inti-Punku (Tiahuanaco, Bolivia), de un kiosko maya, de la Pirámide de Kukulman, del monumento a la cultura saragura, una choza shuar, entre otros.

2.4. Sobre el complejo deportivo.

La infraestructura recreativa y de competencia deportiva existente en el PRJ, lo convierte en el complejo deportivo más importante de la ciudad.

En el territorio del PRJ existen 2 canchas de fútbol, 5 canchas de básquet, 8 canchas de ecuavolley, 3 canchas de tenis, 2 canchas de indorfutbol, 1 piscina temperada con cubierta telescópica móvil, 1 pista de bicicletas, y, 1 ciclovía.

2.5. Otras Facilidades del PRJ.

En el territorio del PRJ existen diversos espacios dedicados a la recreación: juegos infantiles, juego de ajedrez, réplica de una locomotora a vapor, laguna y recorrido acuático, área de camping, y, minizoológico.

Entre los servicios que ofrece el PRJ se cuentan 2 plazas de estacionamientos (una para el área recreativa y otro para la zona deportiva), baterías sanitarias, y, senderos.

2.6. Identificación preliminar de las fuentes renovables de energía aprovechables en el territorio del PRJ.

La observación in situ del territorio del PRJ, y, la consideración del desarrollo prospectivo que la administración del GADM desea construir en el parque, permitió identificar al menos 3 fuentes renovables de energía: solar, humana, y, biomasa.

CAPÍTULO 3

EVALUACIÓN DE LA POTENCIALIDAD DE APROVECHAMIENTO DE BIOMASA EN EL PARQUE RECREACIONAL JIPIRO.

3.1. Introducción.

En el mes de septiembre de 2014, el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal (GADM) de Loja solicitó a la Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL), el apoyo técnico en una serie de iniciativas de desarrollo local. En el grupo de actividades priorizadas se incluyó la conformación de una mesa de trabajo alrededor del aprovechamiento de energía de fuentes renovables en el Parque Recreacional Jipiro (PRJ), ubicado al centro norte de la ciudad.

Establecida la metodología para el abordaje del problema, se describió el marco conceptual que rige la construcción y desarrollo del parque, y, se identificó las fuentes renovables de energía potencialmente aprovechables para potenciar los diferentes procesos propios del parque. En este documento se describe los resultados obtenidos en la etapa de evaluación de la potencialidad de aprovechamiento de biomasa en el PRJ.

3.2. Evaluación de la potencialidad de aprovechamiento de las fuentes renovables de energía.

La visita in situ al PRJ, y, la consideración del desarrollo prospectivo que la administración del GADM desea dar al parque, permitió identificar al menos 3 fuentes renovables de energía en su territorio: solar, humana, y, biomasa.

3.3. Potencialidades de aprovechamiento de biomasa

De acuerdo a la versión de los administradores del parque, los residuos sólidos (bio y no biodegradables) generados por las actividades lúdicas, se recogen diariamente, se clasifican, y, se disponen en los contenedores ubicados junto al río Zamora. Adicionalmente, por el territorio del parque se distribuyen contenedores metálicos que motivan el reciclaje de botellas (ver Fig. 3.1).



Figura 0.1. Contenedores metálicos en forma de botella ubicados en el PRJ.

Fuente: Fotografía de autores.

Por otra parte, el parque cuenta con 7 baterías sanitarias (ver Fig.3.2), cuyas aguas residuales se conducen a los colectores marginales, ubicados a orillas del río Zamora.



Figura 0.2. Panorámica de una de las baterías sanitarias repartidas en el territorio del PRJ.

Fuente: Fotografía de autores.

Especial mención merecen los residuos provenientes de los espacios dedicados a establos, y, del mantenimiento de la foresta que cubre el parque. En el PRJ se crían caballos, ponis, patos, gansos, cisnes, pavos reales, y flamencos. Los desechos orgánicos de estos animales, junto con hojas, ramas y desechos de césped, son recolectados por los

trabajadores los días viernes, y dispuestos en una zanja de 94m x 3.9m, ubicada junto al río Jipiro (ver Fig.3.3). Los residuos dispuestos en la zanja sirven para producir abono para uso exclusivo del parque.



Figura 0.3. Panorámica de la zanja de deposición de los desechos orgánicos en el PRJ.

Fuente: Fotografía de autores.

A pesar de que el volumen de residuos orgánicos no es alto, el equipo de trabajo identificó la posibilidad de adoptar un proceso de tratamiento basado en biodigestores, que permita obtener biogás, potencialmente utilizable para incinerar los residuos sanitarios, y, humus. Esta tecnología, a posterior, podría escalarse para tratamiento de aguas residuales en la zona rural del cantón (ver Fig. 3.4).

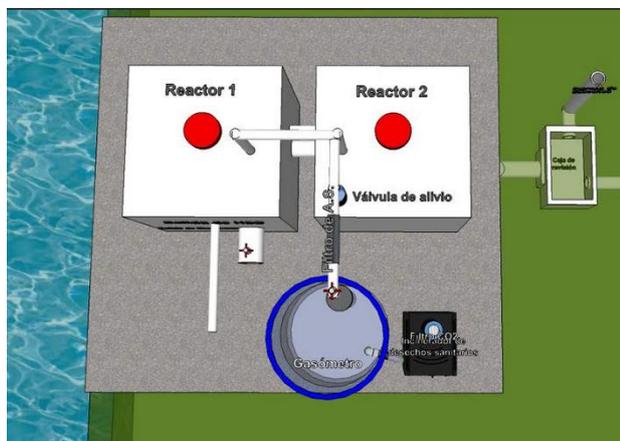


Figura 0.4. Propuesta para aprovechamiento de los residuos orgánicos en el PRJ. Diseño del grupo de trabajo.

Fuente: Diseño de autores.

CAPÍTULO 4

ESTADO DEL ARTE SOBRE EL APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS EN PARQUES Y ESPACIOS PÚBLICOS

4.1. Introducción

En el mes de septiembre de 2014, el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal (GADM) de Loja solicitó a la Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL), el apoyo técnico en una serie de iniciativas de desarrollo local. En el grupo de actividades priorizadas se incluyó la conformación de una mesa de trabajo alrededor del aprovechamiento de energía de fuentes renovables en el Parque Recreacional Jipiro (PRJ), ubicado al centro norte de la ciudad.

Establecida la metodología para el abordaje del problema, se describió el marco conceptual que rige la construcción y desarrollo del parque, y, se identificó las fuentes renovables de energía potencialmente aprovechables para potenciar los diferentes procesos propios del parque. En este documento se describe los resultados obtenidos en la etapa de evaluación del estado del arte en el aprovechamiento de los residuos en parques y espacios públicos.

4.2. Revisión del estado del arte

4.2.1. Gestión actual de los residuos generados en el PRJ

En el PRJ se generan 4 tipos de residuos: sólidos orgánicos, sólidos inorgánicos, sanitarios, y, aguas residuales.

Los residuos sólidos orgánicos se producen en los estables de los animales que habitan en el parque. Los residuos son recolectados, conjuntamente con hojas y ramas, todos los días viernes. La deposición final de estos residuos se encuentra en una zanja de 94m x 3.9m, ubicada a orillas del río Jipiro. El resultado de la descomposición de los residuos se emplea como abono (ver Fig.4.1).

Los residuos sólidos inorgánicos y los residuos sanitarios se recogen en contenedores, para su deposición final a través del sistema de gestión de residuos de la ciudad.

Las aguas residuales son canalizadas y enviadas a los colectores marginales ubicados a la orilla del río Zamora.



Figura 0.1. Deposición final de los residuos orgánicos en el PRJ.

Fuente: Fotografía de autores.

4.2.2. Sobre el aprovechamiento de residuos en otros parques y espacios públicos

En España, el parque Zoológico Terra Natura Benidorm, ubicado en Benidorm (Alicante), alberga aproximadamente 1500 animales [2]. La eliminación de los desechos orgánicos generados, se realiza en una planta piloto de procesamiento de residuos de compostaje entomológico, con la utilización de larvas de mosca (*Hermetia illucens*). Los excrementos se reducen en un 90%, mientras que el restante 10% de materia orgánica se convierte en compost (ver Fig.4.2) [3]. Las larvas de mosca son posteriormente procesadas para reconvertir heces de animales y desechos vegetales en harinas para piensos, grasas para biodiesel y sustancias aprovechables en la industria farmacéutica [4].



Figura 0.2. Panorámica de la planta de compostaje entomológico de Terra Natura Benidorm.

Fuente: Imagen obtenida de Internet [5].

En los EEUU, el parque EPCOT (Experimental Prototype Community of Tomorrow) perteneciente a la empresa Disney, y, ubicado en Orlando (Florida), ocupa una superficie aproximada de 1 millón de metros cuadrados. El reciclaje y el aprovechamiento máximo de los residuos, ha sido una de las prioridades más importantes desde la puesta en funcionamiento del parque, puesto que 100.000 visitas diarias generan tantos residuos como cualquier ciudad de tamaño medio. Los residuos sólidos son transportados hacia un colector central, a través de un sistema de tubería de vacío tipo AVAC (Automated Vacuum-Assisted Collection) (ver Fig.4.3). Las aguas residuales son tratadas químicamente, y, gran parte se utiliza en el riego del Living Filter Tree Farm (60 Ha), en la que ciertas especies vegetales de demostrada capacidad para la absorción de toxinas, se encargan de procesar de forma natural estas aguas contaminadas [6].

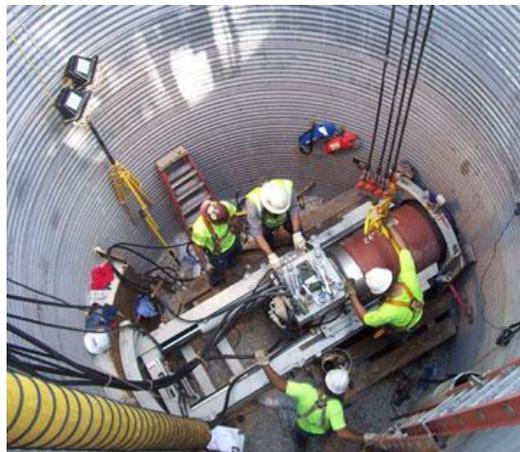


Figura 0.3. Panorámica del sistema AVAC

Fuente: Imagen obtenida de Internet [7].

En Ecuador, el parque La Carolina ubicado en Quito, recibe alrededor de 50.000 visitantes semanales, de los cuales el 70% acuden los fines de semana [8]. En el parque se recolecta un promedio de seis toneladas diarias de desechos. Para reducir y controlar los residuos generados en el parque, se ha implementado el denominado programa de las 3R (recicla, reduce y reusa), que permite disponer los residuos en 3 contenedores: azul (papel y cartón), negro (residuos de comida y basura común), y, amarillo (plástico, enlatados y tetra pack) (ver Fig.4.4) [9].



Figura 0.4. Contenedores del programa 3R del parque La Carolina

Fuente: Imagen obtenida de Internet [10].

En Bolivia, el Zoológico de Mallasa de la ciudad de La Paz, alberga a más de 500 ejemplares de 75 especies de mamíferos, aves, reptiles y peces. El Zoo recibe alrededor de tres mil visitantes los fines de semana. En el Zoo se utiliza un biodigestor tubular para tratar los residuos provenientes del matadero, en el cual se faena a tres burros por día, para alimentar a los animales carnívoros. El bioabono obtenido es empleado en los jardines, mientras el biogás se utiliza en la cocina [11].

En EEUU, el Parque Nacional Yellowstone, ubicado entre Wyoming, Montana e Idaho, es considerado como el parque nacional más antiguo del mundo, y, es famoso por su diversa fauna y sus fenómenos geotérmicos [12]. Yellowstone recibe cada año más de dos millones de visitantes. El programa de reciclaje en el parque, comenzó como parte del sistema de gestión ambiental "ecologización de Yellowstone". Los materiales reciclables se recogen en 5 grupos: aluminio/acero, papel mixto, cartón, vidrio y plástico. También se recicla neumáticos usados y las latas que los campistas abandonan en el parque [13].

4.2.3. A manera de conclusión

Para La revisión bibliográfica muestra que en espacios afines al PRJ se realiza actividades de compostaje tratamiento de aguas residuales, y, reciclaje (ver Tabla 4.1).

Tabla 0.1. Tabla comparativa de las iniciativas para el aprovechamiento de residuos orgánicos en parques y espacios públicos.

Espacios	Compostaje	Procesamiento de aguas residuales	Reciclaje
Zoológico Terra Natura	x		x
EPCOT		x	x
Parque La Carolina			x
Zoológico de Mallasa		x	x
Parque Nacional Yellowstone			x

Fuente: Diseño de Autores

4.3. A manera de propuesta para el aprovechamiento de energía humana en el PRJ

Establecido el estado del arte en el aprovechamiento de residuos en parques y espacios públicos, y, considerando la complejidad de construcción y operación, a través de una lluvia de ideas el equipo de trabajo identificó una opción para el aprovechamiento de biomasa en el PRJ.

Se propuso diseñar e implementar una estación de aprovechamiento de residuos orgánicos y aguas residuales, para la generación de biogás e incineración de residuos sanitarios (ver Fig.4.5); iniciativa que bien podría complementarse a futuro con acciones de reciclaje. La estación constará de 3 etapas: biodigestor, incinerador, y filtro de CO₂.

En el biodigestor, utilizando el método de digestión anaerobia, se puede aprovechar los residuos orgánicos y las aguas residuales, para obtener biogás, agua limpia, y, humus. El biodigestor se construirá preferiblemente con materiales reciclables o de bajo impacto.

En el incinerador se eliminarán los residuos sanitarios, y, operará con ayuda del biogás generado en el reactor.

El filtro de CO₂ se ubicará a la salida del incinerador, y, contribuirá a reducir la contaminación por emisión de gases.

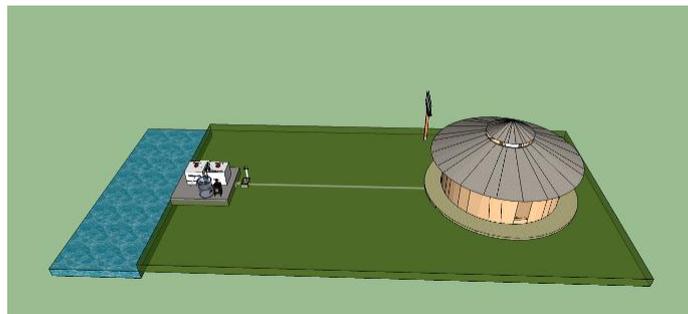


Figura 0.5. Panorámica de la estación de aprovechamiento de residuos orgánicos y aguas residuales propuesta para el PRJ.

Fuente: Diseño de Autores

La estación estará ubicada en la segunda etapa del parque, a orillas del río Jipiro, tal como lo muestra la Fig.4.5.



Figura 0.6. Ubicación de Biodigestor en el Parque Jipiro

Fuente: Diseño de autores.

En la Tabla 4.2 se presenta un presupuesto de inversión para el diseño e implementación de la estación propuesta.

Tabla 0.2. Presupuesto de inversión en la implementación del biodigestor

Item	Rubro	Monto
	Preliminares	
1	Retiro de césped existente	165,80
2	Excavación a mano	
3	Relleno compactado	
	Aguas residuales	
4	PVC 160 mm	460,00
5	Caja de revisión 60 x 60 x 60 cm	
6	Instalación AA.SS	
	Biodigestor	
7	Módulo biogás	2.331,00
8	Módulo agua limpia	
9	Pletinas metálicas para sujeción de biodigestor	
10	Base metálica para gasómetro	
11	Pavimento	
	Incinerador	
12	Construcción metálica	3.130,00
13	Empotrado	
14	Construcción interna	
15	Filtro	
	Imprevistos	626,00
	Total	6.712,80

Fuente: Diseño de autores.

CAPÍTULO 5

DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA DE BIODIGESTORES PARA EL APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS ORGÁNICOS EN EL PARQUE RECREACIONAL JIPIRO DE LA CIUDAD DE LOJA

5.1. Introducción.

Establecida la potencialidad de aprovechamiento de residuos orgánicos en el Parque Recreacional Jipiro, en la ciudad de Loja, se decidió profundizar en la caracterización del residuo disponible a fin de dimensionar el sistema de biodigestores aplicable. En este trabajo se describen los resultados obtenidos.

5.2. Caracterización del residuo orgánico disponible para el aprovechamiento en el PRJ.

5.2.1. Tipos de residuos orgánicos disponibles en el PRJ.

La visita in situ al PRJ permitió identificar al menos 3 fuentes de residuos orgánicos disponibles para el aprovechamiento: residuos de cultivo, residuos de granja, y aguas residuales.

Los residuos de cultivo provienen de las actividades de mantenimiento y limpieza del parque. Los residuos de granja se originan en los excrementos de los animales estabulados en el parque. Las aguas residuales se originan en los baños distribuidos en el PRJ.

5.2.2. Sobre los residuos de cultivo disponibles en el PRJ.

El PRJ tiene una extensión de 10 Ha [14]. Dos veces por semana, se realiza el mantenimiento y limpieza de las áreas verdes. Se recolecta aproximadamente 100 Kg semanales de residuos, incluyendo hojas, malezas, semillas, residuos de poda, rastrojos de cultivos, frutas, verduras de descartes, cortes de pastos, y remanentes de jardín.

Los residuos se recolectan en sacos, para ser trasladados en remolque, y, ser depositados en una zanja de 94 m x 3.9 m, ubicada a orillas del río Jipiro.

5.2.3. Sobre los residuos de granja disponibles en el PRJ.

En el PRJ habitan caballos, ponis, patos, gansos, cisnes, pavos reales y flamencos. Los únicos animales estabulados son los ponis y caballos (ver Fig.5.1), por lo que sus desechos serían los únicos aprovechables. De acuerdo al personal del PRJ, los 9 caballos y los 2 ponis generan un aproximado de 23 Kg diarios de residuos. La recolección del aporte total de residuos se ve limitada por la ausencia sistemática de los equinos en el parque, durante su utilización en rutinas de hipo terapia en el Centro de Hipoterapia Sendero de la Alegría.

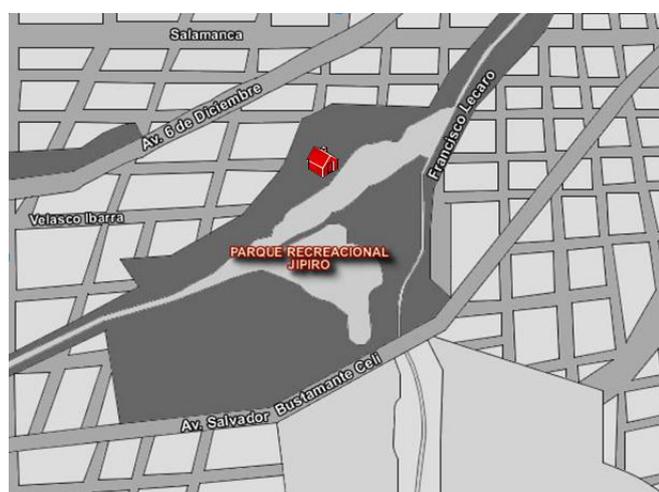


Figura 0.1. Ubicación de los establos en el territorio del PRJ.

Fuente: Diseño de autores.

Los residuos se recolectan diariamente, y se trasladan en carretillas para ser depositados en la zanja, a orillas del río Jipiro.

5.2.4. Sobre las aguas residuales disponibles en el PRJ.

Las aguas residuales se originan en las 6 baterías sanitarias distribuidas en el PRJ. El agua residual se canaliza y se descarga hacia los colectores marginales ubicados a la orilla del Río Zamora. La Fig.5.2 muestra la distribución de las baterías sanitarias de uso administrativo (en color amarillo) y de uso público (en color rojo).

Considerando las particularidades de la distribución del PRJ, en el marco de este proyecto se plantea el aprovechamiento de las aguas residuales provenientes de una batería sanitaria ubicada cerca a la actual zanja de deposición de residuos orgánicos, la misma que consta de cinco baños, un urinario y dos lavamanos.

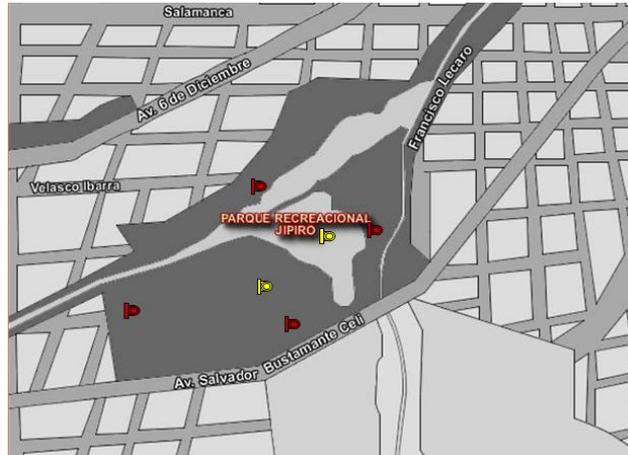


Figura 0.2. Ubicación de las baterías sanitarias en el territorio del PRJ.

Fuente: Diseño de autores.

5.3. Dimensionamiento del sistema de biodigestores a utilizar en el PRJ para aprovechamiento de los residuos orgánicos.

5.3.1. Volumen de mezcla entregado al sistema de biodigestores.

5.3.1.1. Para los residuos de cultivo.

De acuerdo a [15], a la entrada del biodigestor, la proporción óptima entre residuos de cultivo y agua es 1:3. Considerando esta proporción, el volumen de mezcla entregado al biodigestor se determinó en 1,6 m³ / mes (ver expresión 1)

$$V_{rc} = \frac{(P_{rc})+(P_{agua})}{1000} \quad (1)$$

En dónde,

V_{rc} , es el volumen de mezcla de residuos de cultivo y agua entregada al biodigestor, m^3/mes .

P_{rc} , es el peso de residuos de cultivo, Kg

P_{agua} , es el peso del agua, Kg.

5.3.1.2. Para los residuos de granja.

El residuo aproximado de excreta de caballo y ponis es de 23 Kg diarios, con un total aproximado de 690 Kg al mes. Entonces, el volumen de mezcla entregado al biodigestor se determinó en 2 m^3 / mes, utilizando la expresión (2).

$$V_{rg} = \frac{(P_{rg})+(P_{agua})}{1000} \quad (2)$$

En dónde,

V_{rg} , es el volumen de mezcla de residuos de cultivo y agua entregada al biodigestor, m^3/mes .

P_{rc} , es el peso de residuos de granja, Kg

P_{agua} , es el peso del agua, Kg.

5.3.1.3. Para aguas residuales.

La visita in situ y la entrevista a los encargados, permitieron determinar que en conjunto, los cinco baños, el urinario y los dos lavamanos, generan un total esperado de 300 descargas semanales.

El volumen de aguas residuales generado se estima a través de la expresión (3). Considerando que en los modelos actuales de inodoros, cada descarga implica la utilización de al menos 6:1 de agua, el volumen mensual se calculó en 1,8 m^3 / mes.

$$V_{ar} = \frac{(N)(LxD)(T)}{1000} \quad (3)$$

En dónde,

- Var, es el volumen de aguas residuales, m^3/mes
 N, es el número mensual de usuarios
 LxD, es el volumen de agua en cada descarga, l/des
 T, es el número de días de operación

5.3.2. Sobre el almacenamiento de gas en el sistema de biodigestores.

Para determinar el volumen de almacenamiento de biogás, se utilizó el rendimiento en biogás de los residuos sólidos inorgánicos, y el peso de cada uno de ellos (ver expresión 4) [16]. La Tabla 5.1 muestra los resultados obtenidos para cada tipo de residuo, en función de su rendimiento [17].

$$VTA = (P_{\text{residuo}})(RB) \quad (4)$$

En dónde,

- VTA, es el volumen de almacenamiento de biogás en el biodigestor, m^3/mes .
 P_{residuo} , es el peso de residuos de cada uno de los residuos, Kg
 RB, es el rendimiento de biogás para cada tipo de residuo.

Tabla 0.1. Producción esperada de biogás en el PRJ.

Tipo de residuo	Volumen, m^3/mes	Peso, Kg totales residuos/día	Rendimiento biogás	Volumen de almacenamiento de biogás, $m^3/día$
Aguas residuales	1,8	42,85	0,04	1,71
De cultivo	1,6	14,29	0,04	0,57
De granja	2,00	23,00	0,07	1,61

Fuente: Diseño de autores.

5.4. Diseño constructivo del sistema de biodigestores propuesto para operar en el PRJ.

5.4.1. Arquitectura del sistema.

Considerando las particularidades de cada uno de los residuos orgánicos aprovechables, se decidió sugerir la implementación de un sistema de 3 biodigestores especializados (uno por tipo de residuo), tal como lo muestra la Fig.5.3.

Los residuos de cultivo y de granja, una vez pesados, serán mezclados con agua para cubrir la proporción requerida.

A la salida de los biodigestores se espera recolectar biogás, agua, y, humus. El biogás se almacenará en un gasómetro, para proveer al incinerador durante la quema de los residuos sanitarios. Un filtro de CO₂ ayudará a reducir la emisión de gases.

El agua producida se almacenará en una cisterna para su posterior uso, mientras que el humus será extraído manualmente de cada biodigestor.

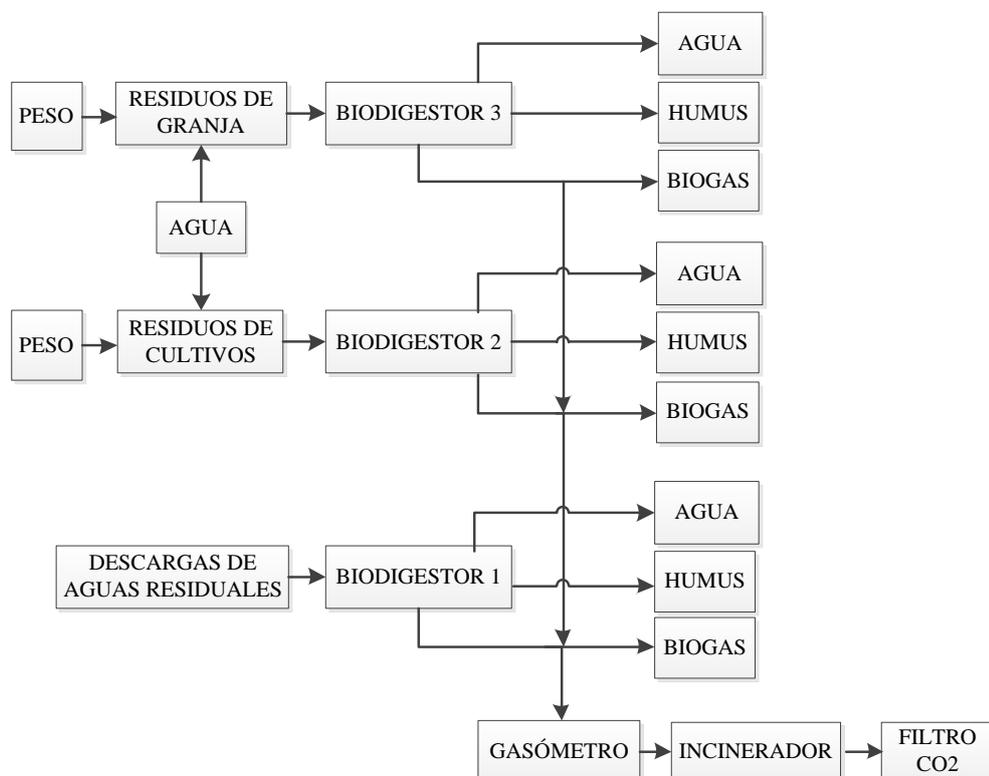


Figura 0.3. Arquitectura propuesta para el sistema de biodigestores para el aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos en el PRJ.

Fuente: Diseño de autores.

5.4.2. Emplazamiento del sistema.

Se propone que el sistema de biodigestores sustituya a la actual zanja, y, que se conciba como un espacio demostrativo. La Fig. 5.4 muestra una vista de planta de la obra civil propuesta, mientras que la Fig. 5.5 recalca detalles constructivos. Las Fig. 5.6 y 5.7 muestran vistas 3D del emplazamiento.

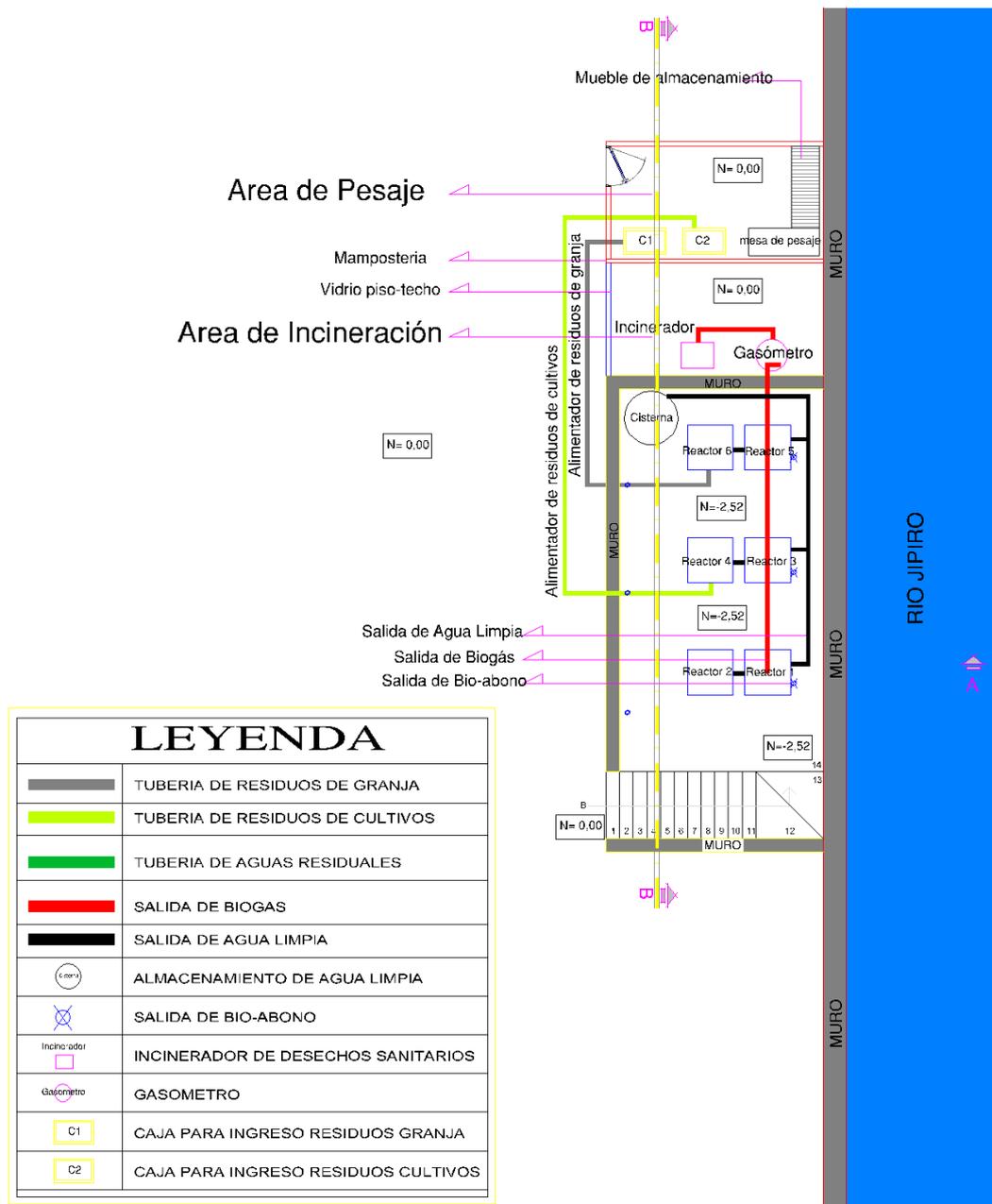


Figura 0.4. Vista de planta de la obra civil propuesta para el emplazamiento del sistema de biodigestores en el PRJ.

Fuente: Diseño de autores.

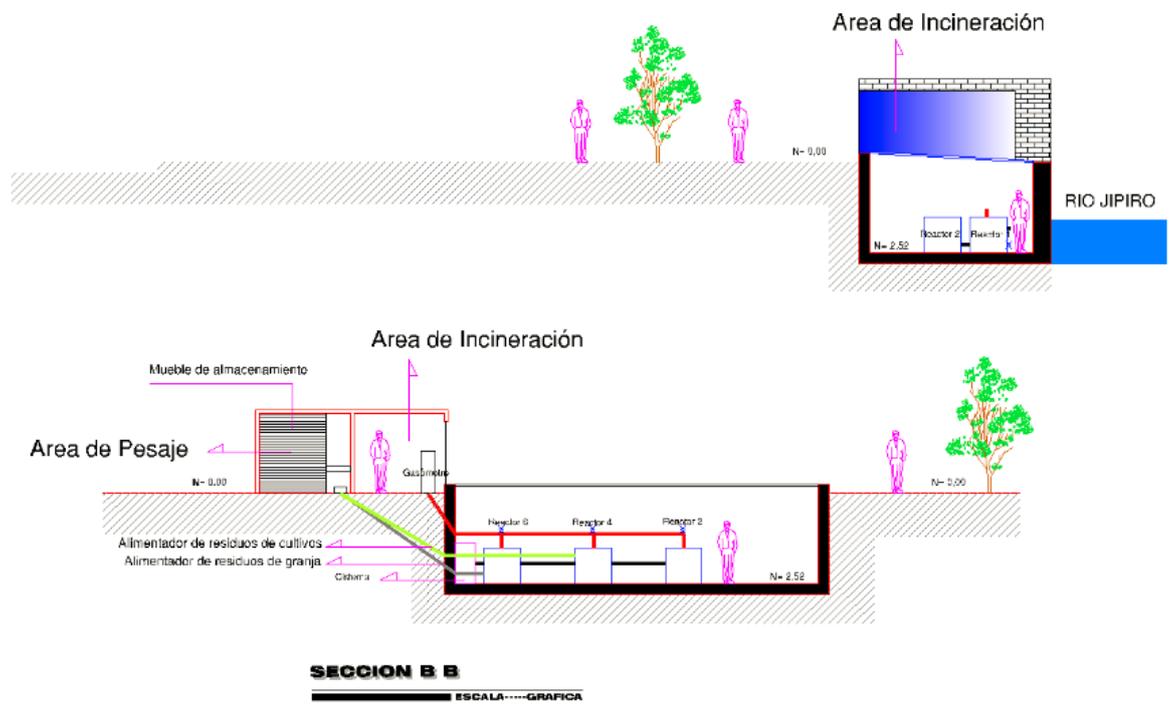


Figura 0.5. Detalles de la obra civil propuesta para el emplazamiento del sistema de biodigestores en el PRJ.

Fuente: Diseño de autores.



Figura 0.6. . Vista panorámica del emplazamiento del sistema de biodigestores en el PRJ.

Fuente: Diseño de autores.

El área ocupada por los biodigestores y el área del incinerador utilizarán vidrio templado para facilitar las explicaciones a los visitantes, mientras que el área de pesaje será privada y no habilitada a visitantes.



Figura 0.7. Vista panorámica lateral del sistema de biodigestores en el PRJ.

Fuente: Diseño de autores.

5.4.3. Operación del sistema de biodigestores.

5.4.3.1. Sobre los residuos de granja.

El pesaje de los residuos de granja se realiza en el área determinada. Los residuos se mezclan con agua en una proporción de 1:3, y, se envían por gravedad desde la caja de revisión 1 hacia el reactor 6. Luego de aproximadamente 45 días, del reactor 5 se obtendrá biogás, agua, y, humus.

5.4.3.2. Sobre los residuos de cultivo.

El pesaje de los residuos de cultivo se realiza en el área determinada. Los residuos se mezclan con agua en una proporción de 1:3, y, se envían por gravedad desde la caja de revisión 2 hacia el reactor 4. Luego de aproximadamente 45 días, del reactor 3 se obtendrá biogás, agua, y, humus.

5.4.3.3. Sobre las aguas residuales.

Las aguas residuales provenientes de la batería sanitaria ingresan por gravedad al reactor 2. Luego de aproximadamente 45 días, del reactor 3 se obtendrá biogás, agua, y, humus.

5.4.3.4. Sobre el biogás producido.

Las salidas de biogás en los reactores 1, 3, y 5, se unen a través de una tubería común. Pasados 45 días, las cortadoras individuales se abren para dar paso al flujo de biogás hacia el gasómetro.

El biogás permanecerá en el gasómetro hasta su utilización en la incineración de los residuos sanitarios.

5.4.3.5. Sobre el agua producida

Las salidas de agua en los reactores 1, 3, y 5, se unen a través de una tubería común. Pasados 45 días, las cortadoras individuales se abren para dar paso al flujo de agua hacia una cisterna, para su posterior uso.

5.4.3.6. Sobre el humus producido

En función del desempeño de los biodigestores, el humus o bio-abono se obtendrá cada 6 o 12 meses. Las salidas para su extracción desde los reactores están operadas por una cortadora, y, su recolección será manual, para lo que se ha previsto el espacio suficiente en el diseño del emplazamiento.

5.4.3.7. Sobre los insumos requeridos

Para la operación del sistema de biodigestores se requiere de 2 insumos: la colonia de bacterias con la que se inocula los biodigestores, y, el agua que se añade a los residuos de cultivo y de granja.

Las bacterias que se introducen en los biodigestores, corresponden a bacterias anaeróbicas metanogénicas, que favorecen la descomposición y la fermentación de los residuos sólidos orgánicos [15].

5.4.3.8. Sobre algunas variables que influyen en el desempeño de los biodigestores

En el desempeño de los biodigestores influyen la temperatura, el tiempo de retención, el pH, y, la humedad.

La temperatura afecta la velocidad de producción del biogás. Al número de días que los residuos deben permanecer dentro del biodigestor se lo conoce como tiempo de retención, parámetro que está ligado a la temperatura ambiente promedio [17], tal como lo muestra la Tabla 5.2.

Tabla 0.2. Tiempo de Retención según temperatura

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

Fuente: Imagen obtenida de Internet [18].

El potencial hidrógeno (pH) está relacionado al bióxido de carbono en el gas, y a los ácidos volátiles de la propia acidez de la materia prima. Las bacterias son muy susceptibles a los cambios del pH. En general, la fermentación anaeróbica sucede con un pH entre 6 y 8, registrando el óptimo en 7 [17].

El contenido de humedad afecta el tiempo de fermentación y descomposición para la producción de biogás: A temperaturas altas y constantes, y con tiempos largos de retención, la humedad influye positivamente en la producción de biogás. A menos días de retención, y a temperaturas bajas oscilantes, la humedad influye negativamente en la producción de biogás [17].

5.4.3.9. Sobre el mantenimiento del sistema de biodigestores

Durante la operación de los biodigestores se deberá adoptar una serie de medidas preventivas diarias como la no utilización de estiércol de animales recién vacunados, la comprobación periódica del nivel de agua en la válvula de alivio, y, el no bloqueo de las cortadoras de los reactores, una vez que se inicie la producción de biogás [19].

En general, se recomienda el mantenimiento preventivo del biodigestor cada año [15]. La recolección de bioabono se realiza cada 6 o 12 meses, y, se cambia el filtro de ácido sulfhídrico cuando se observe corrosión [20].

CONCLUSIONES

- Con una extensión de 10 Ha, el PRJ se constituye en uno de los principales centros de recreación de la ciudad de Loja.
- Por las características del PRJ, se han calificado como potencialmente utilizables al menos 3 fuentes renovables de energía en su territorio: solar, humana, y, biomasa.
- Los resultados muestran la factibilidad técnica y económica de implementar un sistema de biodigestores en el PRJ, que aprovechen los residuos orgánicos.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Parque Recreacional Jipiro [Online]. Disponible en: <https://mail.google.com/mail/u/0/#inbox>. Consulta de noviembre de 2014
- [2] Terra Natura, “Benidorm albergará la primera experiencia mundial de alojamiento entre animales y parque acuático”, [Online]: Disponible en: <http://www.terrannatura.com/Noticias/FichaNoticia.aspx?FrmConstructor=1&FrmidNoticia=581> [Consultado el 16/12/2014].
- [3] Terra Natura, “Terra Natura Benidorm ha albergado la planta de eliminación de residuos en el que se ha realizado la investigación”, [Online]: Disponible en: <http://www.terrannatura.com/Va/Noticias/FichaNoticia.aspx?FrmIdNoticia=323&FrmConstructor=0&PaginaDireccion=3&FrmMes=0&FrmAnio=0> [Consultado el 15/12/2014]
- [4] Reciclame, “De excrementos a productos rentables”, [Online]: Disponible en: <http://www.reciclame.info/tag/reciclaje/page/21/> [Consultado el 09/03/2015].
- [5] Parque Temáticos, “Flysoil y la UA presentan proyecto basado en el tratamiento de residuos orgánicos mediante larvas.”, [Online]: Disponible en: <http://www.parquestematicos.org/noticias/2011/ver-noticia.asp?id=322> [Consultado el 14/12/2014].
- [6] Walt Disney Word Spanish, “El medio Ambiente en Disney Word”, [Online]: Disponible en: http://www.wdwspanish.com/pagina_nueva_3.htm [Consultado el 15/12/2014].
- [7] Robinson Construction, “Magic Kingdom Automatic Vacuum Collection System Walt Disney World, Florida”, [Online]: Disponible en: <http://www.robinsonconstruction.com/markets/underground/magickingdom.htm> [Consultado el 20/02/2015].
- [8] Empresa Pública Metropolitana de Aseo, Noticias Quito Aseo, “Parques: La Carolina, Inglés y Cotocollao son intervenidos por Municipio de Quito”, [Online]: Disponible en: http://prensa.quito.gob.ec/Noticias/news_user_view/parques_la_carolina_ingles_y_cotocollao_son_intervenidos_por_municipio_de_quito--34 [Consultado el 15/12/2014].
- [9] EMASEO, “El mundo de los Residuos”, [Online]: Disponible en: http://www.emaseo.gob.ec/documentos/pdf/folleto_mundo_residuos.pdf [Consultado el 14/12/2014].

- [10] Diario el Comercio, "160 toneladas de basura se reciclan a diario en los 240 puntos verdes", [Online]: Disponible en: <<http://www.elcomercio.com/actualidad/quito/160-toneladas-de-basura-se.html>> [Consultado el 15/12/2014].
- [11] J. Martí Herrero, "Biodigestor en Zoológico de Mallasa", [Online]: Disponible en: <<http://tallerbiogas.blogspot.com/2014/10/biodigestor-en-el-zoologico-de-mallasa.html>> [Consultado el 15/02/2015].
- [12] Wikipedia, "Parque Nacional de Yellowstone", [Online]: Disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Parque_nacional_de_Yellowstone> [Consultado el 27/02/2015].
- [13] EPA, "Yellowstone National Park Recycling Program", [Online]: Disponible en: <<http://www.epa.gov/epawaste/conservation/tools/rogo/documents/yellowstone.pdf>> [Consultado el 15/02/2015].
- [14] Parques de Loja, "Parques", [Online]: Disponible en: <<http://parquesdeloja.blogspot.com/>> [Consultado el 07/03/2015].
- [15] Y. Olaya y L. González, "Fundamentos para el diseño de Biodigestores", [Online]: Disponible en: <<http://www.bdigital.unal.edu.co/7967/4/luisoctaviogonzalezsalcedo.20121.pdf>> [Consultado el 07/03/2015].
- [16] C. Martínez Collao, "Volúmen de Biodigestores", [Online]: Disponible en: <<http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia39/HTML/articulo04.htm>> [Consultado el 07/03/2015].
- [17] G. López, "Biodigestión Anaerobia de residuos sólidos urbanos" [Online]. Disponible en: <<http://tecnura.udistrital.edu.co/ojs/index.php/revista/article/viewFile/95/95>> [Consultado el 10/03/2015].
- [18] J. Martí Herrera, "Biodigestores familiares, Guía de diseño y manual de instalación", La Paz, 2008
- [19] UPC, "Mantenimiento diario del biodigestor" [Online]. Disponible en: <https://grecdh.upc.edu/publicacions/manuals-technics/documents/manual_de_usuario.pdf> [Consultado el 10/03/2015].
- [20] J. Santín, "Implementación de Biodigestor Wilcotech", Loja, 2014.

ANEXOS

Sistema de biodigestores para el aprovechamiento de residuos orgánicos en el Parque Recreacional Jipiro de la ciudad de Loja

#¹Valeria León Vanegas, #²Jorge Luis Jaramillo

#¹ Profesional en formación IET, Universidad Técnica Particular de Loja

#² Docente investigador STE DCCE, Universidad Técnica Particular de Loja

Loja, Ecuador

¹vlleon1@utpl.edu.ec, ²jorgeluis@utpl.edu.ec

Resumen - En este trabajo se describe el estado del arte en el aprovechamiento de residuos en parques y espacios públicos, y, los resultados obtenidos en la etapa del dimensionamiento de un sistema de biodigestores para aprovechamiento de residuos orgánicos en el Parque Recreacional Jipiro, de la ciudad de Loja

Palabras claves — aprovechamiento de residuos orgánicos, parques y espacios públicos, energía, energía renovable.

I. INTRODUCCIÓN

En el mes de septiembre del 2014, el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal (GADM) de Loja solicitó a la Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL), el apoyo técnico en una serie de iniciativas de desarrollo local.

En el grupo de actividades priorizadas se incluyó la conformación de una mesa de trabajo alrededor del aprovechamiento de energía de fuentes renovables en el Parque Recreacional Jipiro (PRJ), ubicado al centro norte de la ciudad.

En este documento se describe los resultados obtenidos en la etapa de evaluación del estado del arte en el aprovechamiento de los residuos en parques y espacios públicos, en la caracterización del residuo disponible en el PRJ, y, en el dimensionamiento de un sistema de biodigestores aplicable en el parque.

II. METODOLOGÍA PROPUESTA PARA LA IDENTIFICACIÓN DE FUENTES RENOVABLES DE ENERGÍA, POTENCIALMENTE APROVECHABLES EN EL PRJ

En relación al aprovechamiento de fuentes renovables de energía en el PRJ, se encargó a la Sección de Telecomunicaciones y Electrónica (STE) del Departamento de Ciencias de la Computación y Electrónica (DCCE) la coordinación de la mesa de trabajo, invitándose también a investigadores del Departamento de Arquitectura y Artes (DAA). En el

GADM de Loja, la representación se asignó a la Dirección de Electrónica y Telecomunicaciones.

Conformada la mesa de trabajo, se diseñó y aprobó una aproximación metodológica para responder a los requerimientos planteados (ver Fig.1).



Fig 1. Metodología de trabajo de la mesa conformada. Diseño de autores.

La etapa de caracterización del parque e identificación de fuentes renovables de energía, se propuso para actualizar la información disponible sobre el PRJ, y, en base a la observación directa en el territorio, identificar las fuentes renovables de energía potencialmente aprovechables para potenciar procesos actuales o por implementar en el parque.

Con la intención de optimizar los recursos disponibles, se decidió plantear una etapa de revisión bibliográfica del estado del arte en el aprovechamiento de energía de fuentes renovables en espacios públicos, que permita identificar las mejores prácticas en funcionamiento en espacios similares.

Culminadas las 2 primeras etapas, los resultados obtenidos fueron socializados con los delegados del GADM, a fin de obtener una priorización desde la perspectiva municipal. Las propuestas priorizadas pasaron a una etapa de ingeniería de detalle, cuyo resultado fue la elaboración de esquemas mecánicos, electrónicos, eléctricos, de obra civil, entre otros.

En la mesa de trabajo, se decidió aperturar las etapas de implementación y gestión, en función de la disponibilidad de recursos para financiar las obras requeridas.

Para la ejecución de las etapas metodológicas propuestas, se conformó un equipo de trabajo integrado por 10 estudiantes de la titulación de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones, que aceptaron apoyar en la iniciativa como parte de su trabajo de fin de titulación. La subdivisión de este equipo de trabajo, permitió profundizar en el análisis de las diversas formas de energía renovable existentes en el parque.

III. CARACTERIZACIÓN DEL PARQUE E IDENTIFICACIÓN PRELIMINAR DE FUENTES APROVECHABLES DE ENERGÍA

A. *Un poco de historia*

El PRJ se ubica en el barrio del mismo nombre, al norte de la ciudad de Loja (Ecuador), y, posee una extensión de 10 Ha, donadas a la ciudad de Loja por el filántropo Daniel Álvarez Burneo.

En la década de los años sesenta del siglo pasado, el entonces Alcalde la ciudad, Dr. Vicente Burneo, abrió la posibilidad de que la propiedad se destine a la construcción de un espacio de recreación y entretenimiento.

En la década de los ochenta, se realizó la primera intervención planificada para la dotación de la infraestructura física necesaria, bajo el motivo de la interculturalidad. En esta etapa, la laguna existente fue conectada mediante un canal con la quebrada de Jipiro.

Oficialmente, el PRJ nació en 1988 durante la alcaldía del Dr. José Bolívar Castillo. Se desarrolló el concepto de parque temático, edificando infraestructura recreacional, educacional y/o administrativa que reproduzca la arquitectura representativa de algunos países y regiones. En el territorio del PRJ, a través de un recorrido lúdico que conjuga arquitectura y esparcimiento, la ciudadanía se acerca al conocimiento de los núcleos culturales más destacados en el mundo.

B. *Zonificación del PRJ*

Existen 2 zonas claramente definidas, separadas por el río Zamora, y articuladas a través de un nodo comunicador en forma de un puente peatonal (ver Fig.2). En estas zonas coexisten los monumentos temáticos (proyecto de las culturas), y, los espacios recreativos y de competencia deportiva. El flujo de visitantes en las zonas se dirige a través de senderos, con la respectiva señalética y equipados con mobiliario urbano.

El acceso al PRJ se realiza desde las 3 vías que circunvalan el territorio (Av. Salvador Bustamante Celi, Av. Velasco Ibarra y Pasaje "H").

C. *Otras facilidades el PRJ*

En el territorio del PRJ existen diversos espacios dedicados a la recreación: juegos infantiles, juego de ajedrez, réplica de una locomotora a vapor, laguna y recorrido acuático, área de camping, y, minizoológico.

Entre los servicios que ofrece el PRJ se cuentan 2 plazas de estacionamientos (una para el área recreativa y otro para la zona deportiva), baterías sanitarias, y, senderos.

D. *Identificación preliminar de las fuentes renovables de energía aprovechables en el territorio del PR Jipiro*

La observación in situ del territorio del PRJ, y, la consideración del desarrollo prospectivo que la administración del GADM desea construir en el parque, permitió identificar al menos 3 fuentes renovables de energía: solar, humana, y, biomasa.

IV. EVALUACIÓN DE LA POTENCIALIDAD DE APROVECHAMIENTO DE BIOMASA EN EL PRJ

De acuerdo a la versión de los administradores del parque, los residuos sólidos (bio y no biodegradables) generados por las actividades lúdicas, se recogen diariamente, se clasifican, y, se disponen en los contenedores ubicados junto al río Zamora. Adicionalmente, por el territorio del parque se distribuyen contenedores metálicos que motivan el reciclaje de botellas (ver Fig.2).



Fig 2. Contenedores metálicos en forma de botella ubicados en el PRJ. Fotografía de los autores.

Por otra parte, el parque cuenta con 7 baterías sanitarias (ver Fig.3), cuyas aguas residuales se conducen a los colectores marginales, ubicados a orillas del río Zamora.



Fig 3. Panorámica de una de las baterías sanitarias repartidas en el territorio del PRJ. Fotografía de los autores.

Especial mención merecen los residuos provenientes de los espacios dedicados a establos, y, del mantenimiento de la foresta que cubre el parque. En el PRJ se crían caballos, ponis, patos, gansos, cisnes, pavos reales, y flamencos. Los desechos orgánicos de estos animales, junto con hojas, ramas y desechos de césped, son recolectados por los trabajadores los días viernes, y dispuestos en una zanja de 94m x 3.9m, ubicada junto al río Jipiro (ver Fig.4). Los residuos dispuestos en la zanja sirven para producir abono para uso exclusivo del parque.



Fig 4. Panorámica de la zanja de deposición de los desechos orgánicos en el PRJ. Fotografía de los autores.

A pesar de que el volumen de residuos orgánicos no es alto, el equipo de trabajo identificó la posibilidad de adoptar un proceso de tratamiento basado en biodigestores, que permita obtener biogás, potencialmente utilizable para incinerar los residuos sanitarios, y, humus. Esta tecnología, a posterior, podría escalarse para tratamiento de aguas residuales en la zona rural del cantón (ver Fig.5).

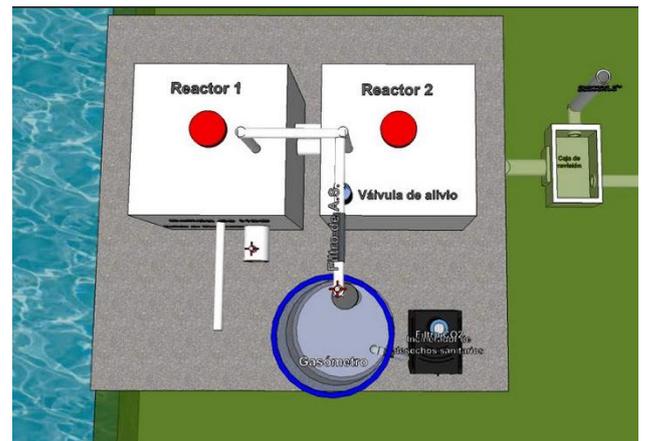


Fig 5. Propuesta para aprovechamiento de los residuos orgánicos en el PRJ. Diseño del grupo de trabajo.

IV. ESTADO DEL ARTE SOBRE EL APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS EN PARQUES Y ESPACIOS PÚBLICOS

A. Sobre gestión actual de los residuos generados en el PRJ

En el PRJ se generan 4 tipos de residuos: sólidos orgánicos, sólidos inorgánicos, sanitarios, y, aguas residuales.

Los residuos sólidos orgánicos se producen en los estables de los animales que habitan en el parque. Los residuos son recolectados, conjuntamente con hojas y ramas, todos los días viernes. La deposición final de estos residuos se encuentra en una zanja de 94m x 3.9m,

ubicada a orillas del río Jipiro. El resultado de la descomposición de los residuos se emplea como abono.

Los residuos sólidos inorgánicos y los residuos sanitarios se recogen en contenedores, para su deposición final a través del sistema de gestión de residuos de la ciudad.

Las aguas residuales son canalizadas y enviadas a los colectores marginales ubicados a la orilla del río Zamora.

B. Sobre el aprovechamiento de residuos en otros parques y espacios públicos

En España, el parque Zoológico Terra Natura Benidorm, ubicado en Benidorm (Alicante), alberga aproximadamente 1500 animales [1]. La eliminación de los desechos orgánicos generados, se realiza en una planta piloto de procesamiento de residuos de compostaje entomológico, con la utilización de larvas de mosca (*Hermetia illucens*). Los excrementos se reducen en un 90%, mientras que el restante 10% de materia orgánica se convierte en compost (ver Fig.6) [2]. Las larvas de mosca son posteriormente procesadas para reconvertir heces de animales y desechos vegetales en harinas para piensos, grasas para biodiesel y sustancias aprovechables en la industria farmacéutica [3].



Fig 6. Panorámica de la planta de compostaje entomológico de Terra Natura Benidorm [4].

En los EEUU, el parque EPCOT (Experimental Prototype Community of Tomorrow) perteneciente a la empresa Disney, y, ubicado en Orlando (Florida), ocupa una superficie aproximada de 1 millón de metros cuadrados. El reciclaje y el aprovechamiento máximo de los residuos, ha sido una de las prioridades más importantes desde la puesta en funcionamiento del parque, puesto que 100.000 visitas diarias generan tantos residuos como cualquier ciudad de tamaño medio. Los residuos sólidos son transportados hacia un colector central, a través de un sistema de tubería de vacío tipo AVAC (Automated Vacuum-Assisted Collection) (ver Fig 7.). Las aguas residuales son tratadas químicamente, y, gran parte se utiliza en el riego del Living Filter Tree Farm (60 Ha), en la que ciertas especies vegetales de demostrada capacidad para la absorción de toxinas, se

encargan de procesar de forma natural estas aguas contaminadas [5].

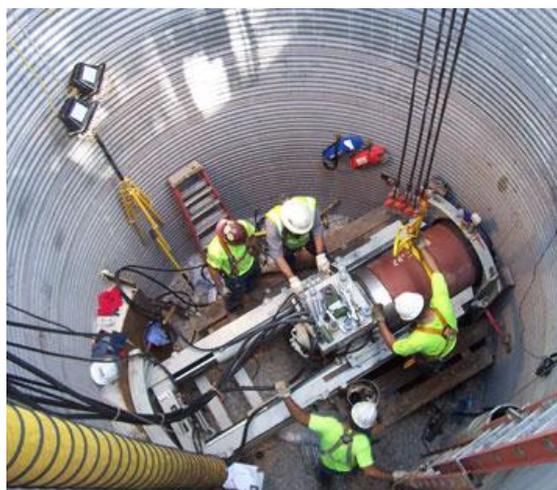


Fig 7. Panorámica del sistema AVAC [6].

En Ecuador, el parque La Carolina ubicado en Quito, recibe alrededor de 50.000 visitantes semanales, de los cuales el 70% acuden los fines de semana [7]. En el parque se recolecta un promedio de seis toneladas diarias de desechos. Para reducir y controlar los residuos generados en el parque, se ha implementado el denominado programa de las 3R (recicla, reduce y reusa), que permite disponer los residuos en 3 contenedores: azul (papel y cartón), negro (residuos de comida y basura común), y, amarillo (plástico, enlatados y tetra pack) (ver Fig.8) [8].



Fig 8. Contenedores del programa 3R del parque La Carolina [9]

En Bolivia, el Zoológico de Mallasa de la ciudad de La Paz, alberga a más de 500 ejemplares de 75 especies de mamíferos, aves, reptiles y peces. El Zoo recibe alrededor de tres mil visitantes los fines de semana. En el Zoo se utiliza un biodigestor tubular para tratar los residuos provenientes del matadero, en el cual se faena a tres burros por día, para alimentar a los animales carnívoros. El bioabono obtenido es empleado en los jardines, mientras el biogás se utiliza en la cocina [10].

En EEUU, el Parque Nacional Yellowstone, ubicado entre Wyoming, Montana e Idaho, es considerado como el parque nacional más antiguo del mundo, y, es famoso por su diversa fauna y sus fenómenos geotérmicos [11]. Yellowstone recibe cada año más de dos millones

de visitantes. El programa de reciclaje en el parque, comenzó como parte del sistema de gestión ambiental “ecologización de Yellowstone”. Los materiales reciclables se recogen en 5 grupos: aluminio/acero, papel mixto, cartón, vidrio y plástico. También se recicla neumáticos usados y las latas que los campistas abandonan en el parque [12].

C. A manera de conclusión

La revisión bibliográfica muestra que en espacios afines al PRJ se realiza actividades de compostaje tratamiento de aguas residuales, y, reciclaje (ver Tabla 1).

Tabla 1.

Tabla comparativa de las iniciativas para el aprovechamiento de residuos orgánicos en parques y espacios públicos. Diseño de los autores

Espacios	Compostaje	Procesamiento de aguas residuales	Reciclaje
Zoológico Terra Natura	x		x
EPCOT		x	x
Parque La Carolina			x
Zoológico de Mallasa		x	x
Parque Nacional Yellowstone			x

D. A manera de propuesta para el aprovechamiento de energía humana en el PRJ

Establecido el estado del arte en el aprovechamiento de residuos en parques y espacios públicos, y, considerando la complejidad de construcción y operación, a través de una lluvia de ideas el equipo de trabajo identificó una opción para el aprovechamiento de biomasa en el PRJ.

Se propuso diseñar e implementar una estación de aprovechamiento de residuos orgánicos y aguas residuales, para la generación de biogás e incineración de residuos sanitarios (ver Fig.9); iniciativa que bien podría complementarse a futuro con acciones de reciclaje. La estación constará de 3 etapas: biodigestor, incinerador, y filtro de CO₂.

En el biodigestor, utilizando el método de digestión anaerobia, se puede aprovechar los residuos orgánicos y las aguas residuales, para obtener biogás, agua limpia, y, humus. El biodigestor se construirá preferiblemente con materiales reciclables o de bajo impacto.

En el incinerador se eliminarán los residuos sanitarios, y, operará con el biogás generado en el reactor.

El filtro de CO₂ se ubicará a la salida del incinerador, y, contribuirá a reducir la contaminación por emisión de gases.

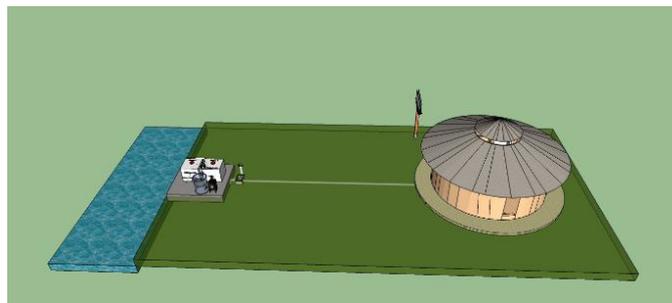


Fig 9. Panorámica de la estación de aprovechamiento de residuos orgánicos y aguas residuales propuesta para el PRJ. Diseño de los autores.

La estación estará ubicada en la segunda etapa del parque, a orillas del río Jipiro, tal como lo muestra la Fig.10.



Fig 10. Ubicación de Biodigestor en el Parque Jipiro

En la Tabla 2 se presenta un presupuesto de inversión para el diseño e implementación de la estación propuesta.

Tabla 2.

Presupuesto de inversión en la implementación del biodigestor. Diseño de los autores

Item	Rubro	Monto
	Preliminares	
1	Retiro de césped existente	165,80
2	Excavación a mano	
3	Relleno compactado	
	Aguas residuales	
4	PVC 160 mm	460,00
5	Caja de revisión 60 x 60 x 60 cm	
6	Instalación AA.SS	
	Biodigestor	
7	Módulo biogás	2.331,00
8	Módulo agua limpia	
9	Pletinas metálicas para sujeción de biodigestor	
10	Base metálica para gasómetro	
11	Pavimento	
	Incinerador	
12	Construcción metálica	3.130,00
13	Empotrado	
14	Construcción interna	
15	Filtro	
	Imprevistos	626,00
	Total	6.712,80

V. DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA DE BIODIGESTORES PARA EL APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS ORGÁNICOS EN EL PRJ

A. Caracterización del residuo orgánico disponible para el aprovechamiento en el PRJ

La visita in situ al PRJ permitió identificar al menos 3 fuentes de residuos orgánicos disponibles para el aprovechamiento: residuos de cultivo, residuos de granja, y aguas residuales.

Los residuos de cultivo provienen de las actividades de mantenimiento y limpieza del parque. Los residuos de granja se originan en los excrementos de los animales estabulados en el parque. Las aguas residuales se originan en los baños distribuidos en el PRJ.

El PRJ tiene una extensión de 10 Ha [13]. Dos veces por semana, se realiza el mantenimiento y limpieza de las áreas verdes. Se recolecta aproximadamente 100 Kg semanales de residuos, incluyendo hojas, malezas, semillas, residuos de poda, rastrojos de cultivos, frutas, verduras de descartes, cortes de pastos, y remanentes de jardín.

Los residuos se recolectan en sacos, para ser trasladados en remolque, y, ser depositados en una zanja de 94 m x 3.9 m, ubicada a orillas del río Jipiro.

En el PRJ habitan caballos, ponis, patos, gansos, cisnes, pavos reales y flamencos. Los únicos animales estabulados son los ponis y caballos (ver Fig.11), por lo que sus desechos serían los únicos aprovechables. De acuerdo al personal del PRJ, los 9 caballos y los 2 ponis generan un aproximado de 23 Kg diarios de residuos. La recolección del aporte total de residuos se ve limitada por la ausencia sistemática de los equinos en el parque, durante su utilización en rutinas de hipo terapia en el Centro de Hipoterapia Sendero de la Alegría

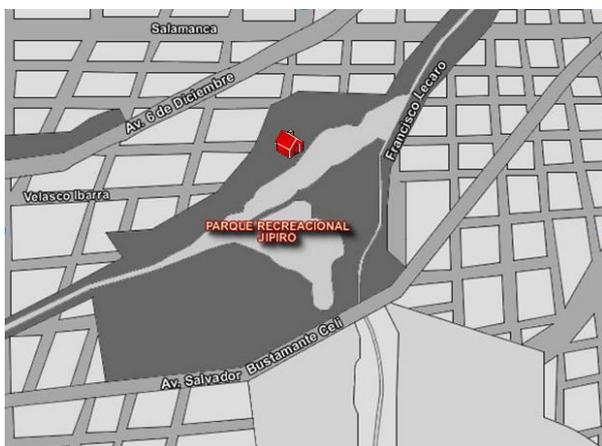


Fig 11. Ubicación de los establos en el territorio del PRJ. Diseño de autores

Los residuos se recolectan diariamente, y se trasladan en carretillas para ser depositados en la zanja, a orillas del río Jipiro.

Las aguas residuales se originan en las 6 baterías sanitarias distribuidas en el PRJ. El agua residual se canaliza y se descarga hacia los colectores marginales ubicados a la orilla del Río Zamora. La Fig.12 muestra la distribución de las baterías sanitarias de uso administrativo (en color amarillo) y de uso público (en color rojo).

Considerando las particularidades de la distribución del PRJ, en el marco de este proyecto se plantea el aprovechamiento de las aguas residuales provenientes de una batería sanitaria ubicada cerca a la actual zanja de deposición de residuos orgánicos, la misma que consta de cinco baños, un urinario y dos lavamanos.

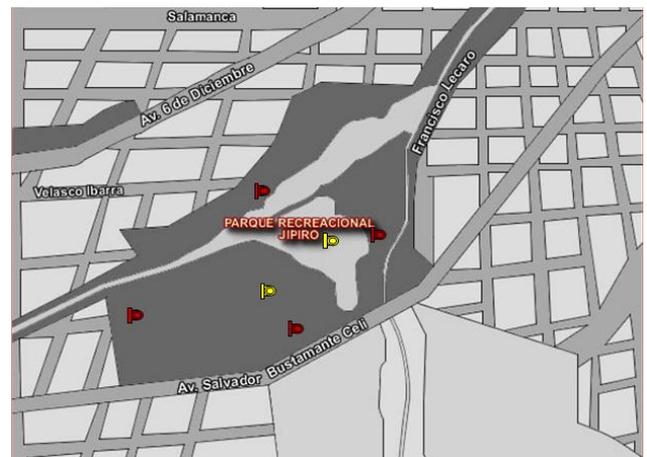


Fig 12. Ubicación de las baterías sanitarias en el territorio del PRJ. Diseño de autores

B. Dimensionamiento del sistema de biodigestores a utilizar en el PRJ para aprovechamiento de los residuos orgánicos

De acuerdo a [14], a la entrada del biodigestor, la proporción óptima entre **residuos de cultivo** y agua es 1:3. Considerando esta proporción, el volumen de mezcla entregado al biodigestor se determinó en 1,6 m³ / mes (ver expresión 1)

$$V_{rc} = \frac{(P_{rc})+(P_{agua})}{1000} \quad (1)$$

En dónde,

- V_{rc} , es el volumen de mezcla de residuos de cultivo y agua entregada al biodigestor, m³/mes.
- P_{rc} , es el peso de residuos de cultivo, Kg
- P_{agua} , es el peso del agua, Kg.

El residuo aproximado de excreta de caballo y ponis es de 23 Kg diarios, con un total aproximado de 690 Kg al mes. Entonces, el volumen de mezcla de **residuo de granja** entregado al biodigestor se determinó en 2 m³ / mes, utilizando la expresión (2).

$$V_{rg} = \frac{(P_{rg})+(P_{agua})}{1000} \quad (2)$$

En dónde,

V_{rg} , es el volumen de mezcla de residuos de cultivo y agua entregada al biodigestor, m^3/mes .
 P_{rc} , es el peso de residuos de granja, Kg
 P_{agua} , es el peso del agua, Kg.

es el volumen de mezcla de residuos de cultivo y agua entregada al biodigestor, m^3/mes .
 P_{rc} , es el peso de residuos de granja, Kg
 P_{agua} , es el peso del agua, Kg.

La visita in situ y la entrevista a los encargados, permitieron determinar que en conjunto, los cinco baños, el urinario y los dos lavamanos, generan un total esperado de 300 descargas semanales. El volumen de **aguas residuales** generado se estima a través de la expresión (3). Considerando que en los modelos actuales de inodoros, cada descarga implica la utilización de al menos 6:1 de agua, el volumen mensual se calculó en 1,8 m^3/mes .

$$V_{ar} = \frac{(N)(LxD)(T)}{1000} \quad (3)$$

En dónde,

V_{ar} , es el volumen de aguas residuales, m^3/mes
 N , es el número mensual de usuarios
 LxD , es el volumen de agua en cada descarga, l/des
 T , es el número de días de operación

Para determinar **el volumen de almacenamiento de biogás en el sistema de biodigestores**, se utilizó el rendimiento en biogás de los residuos sólidos inorgánicos, y el peso de cada uno de ellos (ver expresión 4) [15]. La Tabla 1 muestra los resultados obtenidos para cada tipo de residuo, en función de su rendimiento [15].

$$VTA = (P_{residuo})(RB) \quad (4)$$

En dónde,

VTA , es el volumen de almacenamiento de biogás en el biodigestor, m^3/mes .
 $P_{residuo}$, es el peso de residuos de cada uno de los residuos, Kg
 RB , es el rendimiento de biogás para cada tipo de residuo.

Tabla 3.

Producción esperada de biogás en el PRJ. Diseño de autores

Tipo de residuo	Volumen, m^3/mes	Peso, Kg totales residuos/día	Rendimiento biogás	Volumen de almacenamiento de biogás, $m^3/día$
Aguas residuales	1,8	42,85	0,04	1,71
De cultivo	1,6	14,29	0,04	0,57
De granja	2,00	23,00	0,07	1,61

C. *Diseño constructivo del sistema de biodigestores propuesto para operar en el PRJ*

Arquitectura del sistema

Considerando las particularidades de cada uno de los residuos orgánicos aprovechables, se decidió sugerir la implementación de un sistema de 3 biodigestores especializados (uno por tipo de residuo), tal como lo muestra la Fig.15. Los residuos de cultivo y de granja, una vez pesados, serán mezclados con agua para cubrir la proporción requerida.

A la salida de los biodigestores se espera recolectar biogás, agua, y, humus. El biogás se almacenará en un gasómetro, para proveer al incinerador durante la quema de los residuos sanitarios. Un filtro de CO_2 ayudará a reducir la emisión de gases.

El agua producida se almacenará en una cisterna para su posterior uso, mientras que el humus será extraído manualmente de cada biodigestor.

Emplazamiento del sistema

Se propone que el sistema de biodigestores sustituya a la actual zanja, y, que se conciba como un espacio demostrativo. La Fig. 17 muestra una vista de planta de la obra civil propuesta, mientras que la Fig. 16 recalca detalles constructivos. Las Fig. 13 y 14 muestran vistas 3D del emplazamiento.



Fig 13. Vista panorámica del emplazamiento del sistema de biodigestores en el PRJ. Diseño de autores.



Fig 14. Vista panorámica lateral del sistema de biodigestores en el PRJ. Diseño de autores.

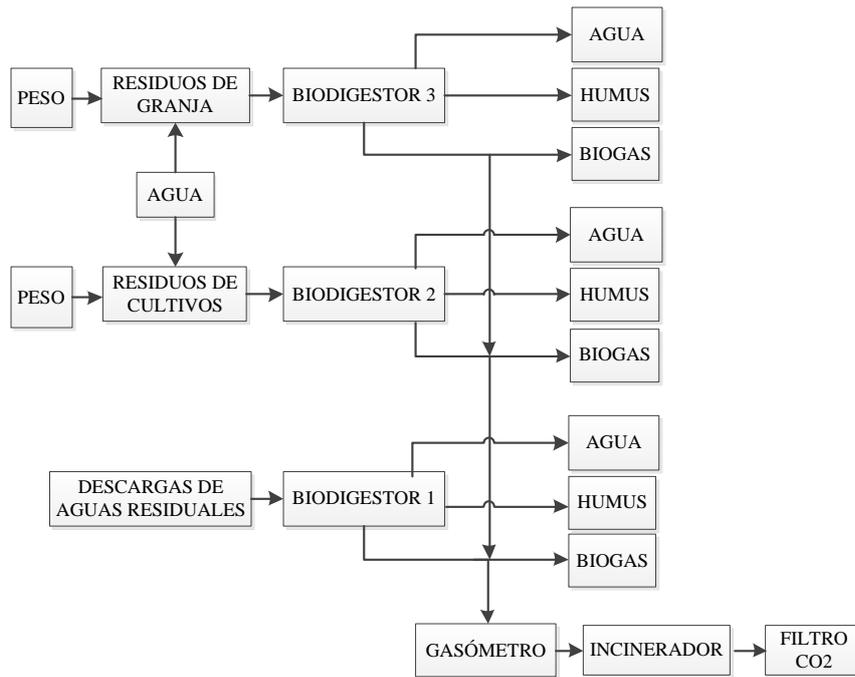


Fig 15. Arquitectura propuesta para el sistema de biodigestores para el aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos en el PRJ. Diseño de autores

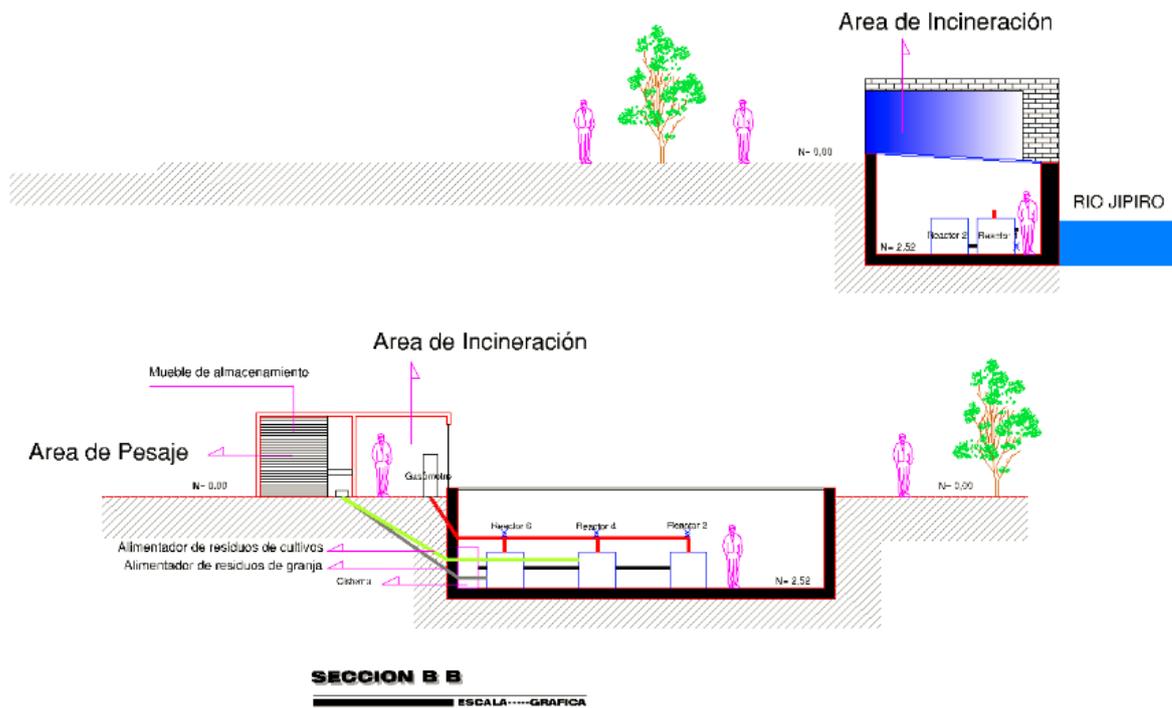


Fig 16. Detalles de la obra civil propuesta para el emplazamiento del sistema de biodigestores en el PRJ. Diseño de autores

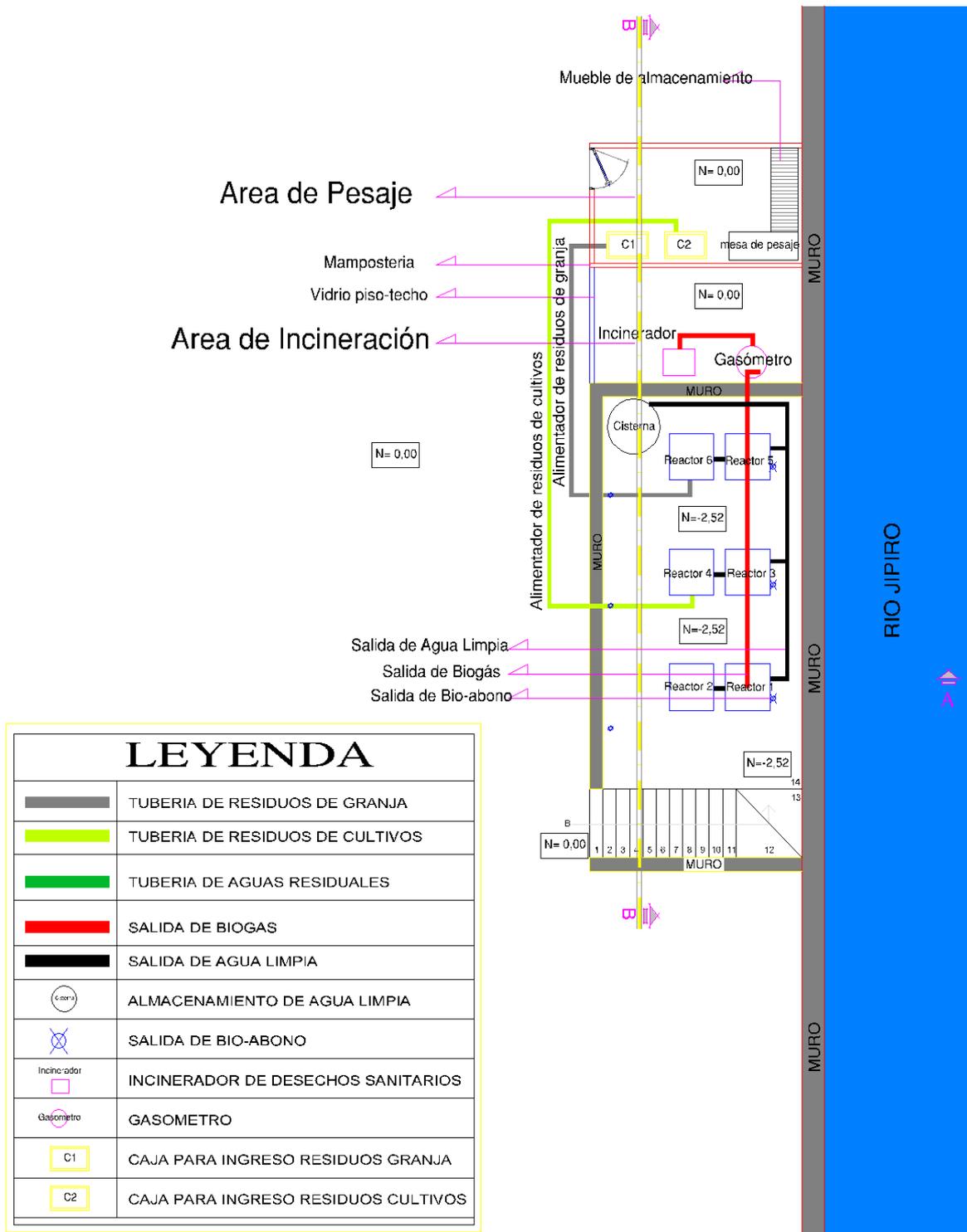


Fig 17. Vista de planta de la obra civil propuesta para el emplazamiento del sistema de biodigestores en el PRJ. Diseño de autores

El área ocupada por los biodigestores y el área del incinerador utilizarán vidrio templado para facilitar las explicaciones a los visitantes, mientras que el área de pesaje será privada y no habilitada a visitantes.

Operación del sistema de biodigestores

El pesaje de **los residuos de granja** se realiza en el área determinada. Los residuos se mezclan con agua en una proporción de 1:3, y, se envían por gravedad desde la caja de revisión 1 hacia el reactor 6. Luego de aproximadamente 45 días, del reactor 5 se obtendrá biogás, agua, y, humus.

El pesaje de **los residuos de cultivo** se realiza en el área determinada. Los residuos se mezclan con agua en una proporción de 1:3, y, se envían por gravedad desde la caja de revisión 2 hacia el reactor 4. Luego de aproximadamente 45 días, del reactor 3 se obtendrá biogás, agua, y, humus

Las aguas residuales provenientes de la batería sanitaria ingresan por gravedad al reactor 2. Luego de aproximadamente 45 días, del reactor 3 se obtendrá biogás, agua, y, humus

Las salidas de **biogás producido** en los reactores 1, 3, y 5, se unen a través de una tubería común. Pasados 45 días, las cortadoras individuales se abren para dar paso al flujo de biogás hacia el gasómetro. El biogás permanecerá en el gasómetro hasta su utilización en la incineración de los residuos sanitarios.

Las salidas de **agua producida** en los reactores 1, 3, y 5, se unen a través de una tubería común. Pasados 45 días, las cortadoras individuales se abren para dar paso al flujo de agua hacia una cisterna, para su posterior uso.

En función del desempeño de los biodigestores, **el humus o bioabono** se obtendrá cada 6 o 12 meses. Las salidas para su extracción desde los reactores están operadas por una cortadora, y, su recolección será manual, para lo que se ha previsto el espacio suficiente en el diseño del emplazamiento.

Los **insumos requeridos** para la operación del sistema de biodigestores son dos: la colonia de bacterias con la que se inocula los biodigestores, y, el agua que se añade a los residuos de cultivo y de granja. Las bacterias que se introducen en los biodigestores, corresponden a bacterias anaeróbicas metanogénicas, que favorecen la descomposición y la fermentación de los residuos sólidos orgánicos [14].

En el desempeño de los biodigestores algunas **variables influyen en el desempeño de los biodigestores**, como: la temperatura, el tiempo de retención, el pH, y, la humedad.

La temperatura afecta la velocidad de producción del biogás. Al número de días que los residuos deben permanecer dentro del biodigestor se lo conoce como tiempo de retención, parámetro que está ligado a la temperatura ambiente promedio [16], tal como lo muestra la Tabla 4.

Tabla 4.
Tiempo de Retención según temperatura [17]

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

El potencial hidrógeno (pH) está relacionado al bióxido de carbono en el gas, y a los ácidos volátiles de la propia acidez de la materia prima. Las bacterias son muy susceptibles a los cambios del pH. En general, la fermentación anaeróbica sucede con un pH entre 6 y 8, registrando el óptimo en 7 [16].

El contenido de humedad afecta el tiempo de fermentación y descomposición para la producción de biogás: A temperaturas altas y constantes, y con tiempos largos de retención, la humedad influye positivamente en la producción de biogás. A menos días de retención, y a temperaturas bajas oscilantes, la humedad influye negativamente en la producción de biogás [16].

Durante la operación de los biodigestores se deberá adoptar una serie de medidas preventivas diarias para **el mantenimiento del sistema de biodigestores** como la no utilización de estiércol de animales recién vacunados, la comprobación periódica del nivel de agua en la válvula de alivio, y, el no bloqueo de las cortadoras de los reactores, una vez que se inicie la producción de biogás [18]. En general, se recomienda el mantenimiento preventivo del biodigestor cada año [14]. La recolección de bioabono se realiza cada 6 o 12 meses, y, se cambia el filtro de ácido sulfhídrico cuando se observe corrosión [19].

VI. CONCLUSIONES

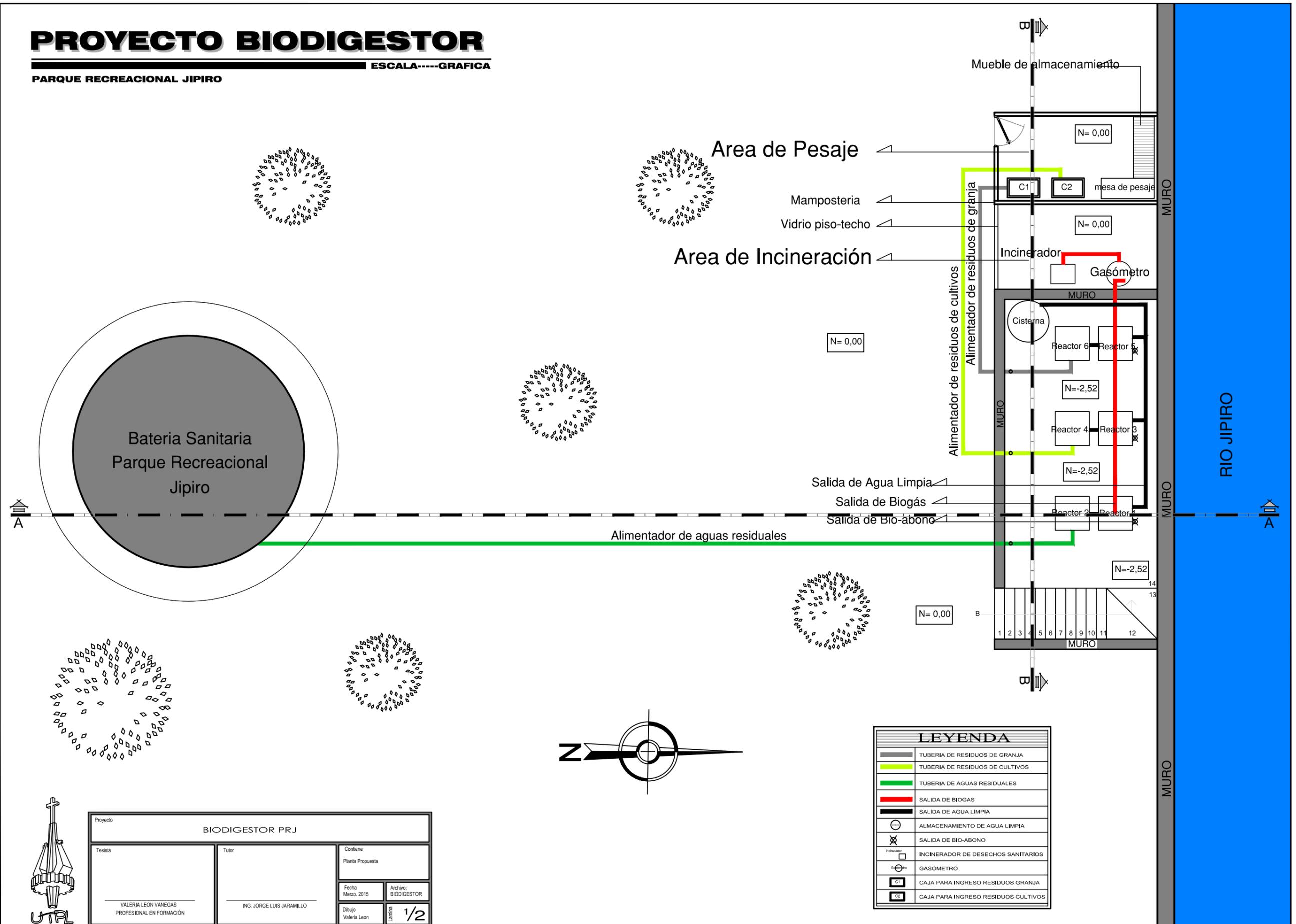
- Con una extensión de 10 Ha, el PRJ se constituye en uno de los principales centros de recreación de la ciudad de Loja.
- Por las características del PRJ, se han calificado como potencialmente utilizables al menos 3 fuentes renovables de energía en su territorio: solar, humana, y, biomasa.
- Los resultados de este trabajo muestran la factibilidad técnica y económica de implementar un sistema de biodigestores en el PRJ, que aprovechen los residuos orgánicos.

VII. REFERENCIAS

- [1] Terra Natura, “Benidorm albergará la primera experiencia mundial de alojamiento entre animales y parque acuático”, [Online]: Disponible en: <<http://www.terrannatura.com/Noticias/FichaNoticia.aspx?FrmConstructor=1&FrmIdNoticia=581>> [Consultado el 16/12/2014].
- [2] Terra Natura, “Terra Natura Benidorm ha albergado la planta de eliminación de residuos en el que se ha realizado la investigación”, [Online]: Disponible en: <<http://www.terrannatura.com/Va/Noticias/FichaNoticia.aspx?FrmIdNoticia=323&FrmConstructor=0&PaginaDireccion=3&FrmMes=0&FrmAnio=0>> [Consultado el 15/12/2014]
- [3] Reciclame, “De excrementos a productos rentables”, [Online]: Disponible en: <<http://www.reciclame.info/tag/reciclaje/page/21/>> [Consultado el 09/03/2015].
- [4] Parque Temáticos, “Flysoil y la UA presentan proyecto basado en el tratamiento de residuos orgánicos mediante larvas.”, [Online]: Disponible en: <<http://www.parquestematicos.org/noticias/2011/ver-noticia.asp?id=322>> [Consultado el 14/12/2014].
- [5] Walt Disney Word Spanish, “El medio Ambiente en Disney Word”, [Online]: Disponible en: <http://www.wdspanish.com/pagina_nueva_3.htm> [Consultado el 15/12/2014].
- [6] Robinson Construction, “Magic Kingdom Automatic Vacuum Collection System Walt Disney World, Florida”, [Online]: Disponible en: <<http://www.robinsonconstruction.com/markets/underground/magickingdom.htm>> [Consultado el 20/02/2015].
- [7] Empresa Pública Metropolitana de Aseo, Noticias Quito Aseo, “Parques: La Carolina, Inglés y Cotocollao son intervenidos por Municipio de Quito”, [Online]: Disponible en: <http://prensa.quito.gob.ec/Noticias/news_user_view/parques_la_carolina_ingles_y_cotocollao_son_intervenidos_por_municipio_de_quito--34> [Consultado el 15/12/2014].
- [8] EMASEO, “El mundo de los Residuos”, [Online]: Disponible en: <http://www.emaseo.gob.ec/documentos/pdf/folleto_mundo_residuos.pdf> [Consultado el 14/12/2014].
- [9] Diario el Comercio, “160 toneladas de basura se reciclan a diario en los 240 puntos verdes”, [Online]: Disponible en: <<http://www.elcomercio.com/actualidad/quito/160-toneladas-de-basura-se.html>> [Consultado el 15/12/2014].
- [10] J. Martí Herrero, “Biodigestor en Zoológico de Mallasa”, [Online]: Disponible en: <<http://tallerbiogas.blogspot.com/2014/10/biodigestor-en-el-zoologico-de-mallasa.html>> [Consultado el 15/02/2015].
- [11] Wikipedia, “Parque Nacional de Yellowstone”, [Online]: Disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Parque_nacional_de_Yellowstone> [Consultado el 27/02/2015].
- [12] EPA, “Yellowstone National Park Recycling Program”, [Online]: Disponible en: <<http://www.epa.gov/epawaste/conservation/tools/rogo/documents/yellowstone.pdf>> [Consultado el 15/02/2015].
- [13] Parques de Loja, “Parques”, [Online]: Disponible en: <<http://parquesdeloja.blogspot.com/>> [Consultado el 07/03/2015].
- [14] Y. Olaya y L. González, “Fundamentos para el diseño de Biodigestores”, [Online]: Disponible en: <<http://www.bdigital.unal.edu.co/7967/4/luisoctaviogonzalezsalcedo.20121.pdf>> [Consultado el 07/03/2015].
- [15] C. Martínez Collao, “Volúmen de Biodigestores”, [Online]: Disponible en: <<http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia39/HTML/articulo04.htm>> [Consultado el 07/03/2015].
- [16] G. López, “Biodigestión Anaerobia de residuos sólidos urbanos” [Online]. Disponible en: <<http://tecnura.udistrital.edu.co/ojs/index.php/revista/article/viewFile/95/95>> [Consultado el 10/03/2015].
- [17] J. Martí Herrera, “Biodigestores familiares, Guía de diseño y manual de instalación”, La Paz, 2008
- [18] UPC, “Mantenimiento diario del biodigestor” [Online]. Disponible en: <https://grecdh.upc.edu/publicacions/manuals-tecnics/documents/manual_de_usuario.pdf> [Consultado el 10/03/2015].
- [19] J. Santín, “Implementación de Biodigestor Wilcotech”, Loja, 2014.

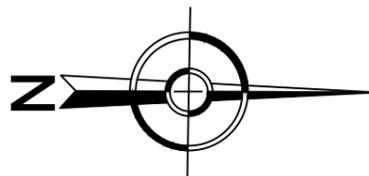
PROYECTO BIODIGESTOR

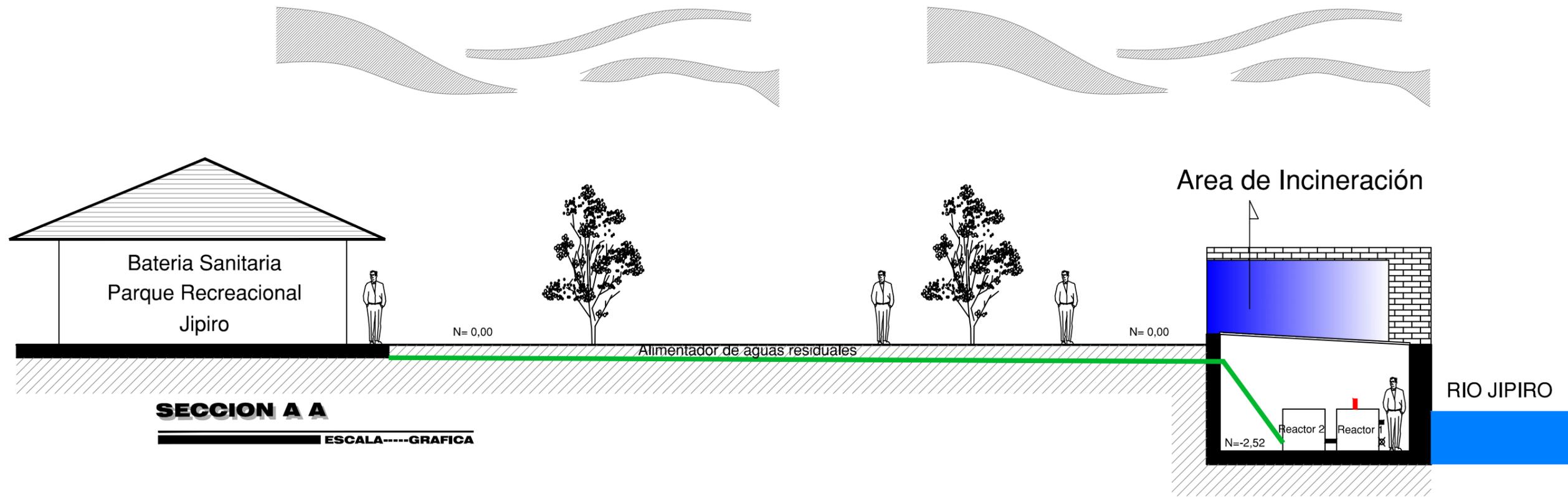
PARQUE RECREACIONAL JIPIRO ESCALA-----GRAFICA



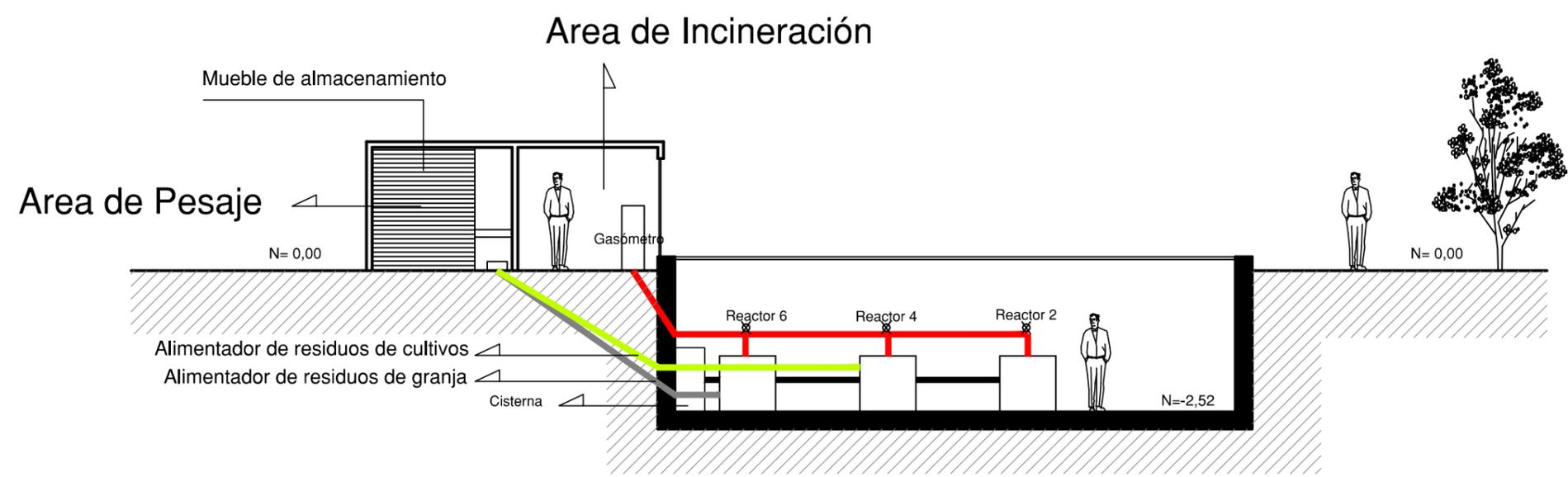
LEYENDA	
	TUBERIA DE RESIDUOS DE GRANJA
	TUBERIA DE RESIDUOS DE CULTIVOS
	TUBERIA DE AGUAS RESIDUALES
	SALIDA DE BIOGAS
	SALIDA DE AGUA LIMPIA
	ALMACENAMIENTO DE AGUA LIMPIA
	SALIDA DE BIO-ABONO
	INCINERADOR DE DESECHOS SANITARIOS
	GASOMETRO
	CAJA PARA INGRESO RESIDUOS GRANJA
	CAJA PARA INGRESO RESIDUOS CULTIVOS

Proyecto: BIODIGESTOR PRJ		
Tesisista: VALERIA LEON VANEGAS PROFESIONAL EN FORMACIÓN	Tutor: ING. JORGE LUIS JARAMILLO	Contiene: Planta Propuesta
Fecha: Marzo, 2015	Archivo: BIODIGESTOR	
Dibujo: Valeria Leon	Escala: 1/2	





SECCION A A
ESCALA-----GRAFICA



SECCION B B
ESCALA-----GRAFICA



Proyecto			BIODIGESTOR PRJ		
Tesisista		Tutor		Contiene	
VALERIA LEON VANEGAS PROFESIONAL EN FORMACIÓN		ING. JORGE LUIS JARAMILLO		Planta Propuesta	
Fecha		Archivo:		Contiene	
Marzo. 2015		BIODIGESTOR		2/2	
Dibujo		Escala:		Contiene	
Valeria Leon					