

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

**Diseño e implementación de un proceso de tratamiento de
residuos orgánicos mediante técnicas de compostaje en la
Universidad San Francisco de Quito**

Carlos Felipe Vallejo Muñoz

Ingeniería Química

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito
para la obtención del título de Ingeniero Químico

Quito, 16 de Mayo del 2021

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

HOJA DE CALIFICACIÓN DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA

**Diseño e implementación de un proceso de tratamiento de
residuos orgánicos mediante técnicas de compostaje en la
Universidad San Francisco de Quito**

Carlos Felipe Vallejo Muñoz

Nombre del profesor, Título académico

Juan Diego Fonseca Ashton, Ph. D.

Quito, 16 de Mayo del 2021

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos: Carlos Felipe Vallejo Muñoz

Código: 00137796

Cédula de identidad: 171985568-4

Lugar y fecha: Quito, 16 de Mayo del 2021

ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

Nota: El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETheses>.

UNPUBLISHED DOCUMENT

Note: The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETheses>.

RESUMEN

En el presente proyecto integrador, fruto del trabajo en conjunto de varios departamentos de la Universidad San Francisco de Quito, entre ellos el Colegio de Hospitalidad, Arte Culinario y Turismo, la Oficina de Innovación y Sustentabilidad, y el Departamento de Ingeniería Química, se ha diseñado un proceso de tratamiento de residuos orgánicos provenientes tanto de los servicios alimenticios que tienen convenio con la institución, así como de actividades de jardinería del campus principal en Cumbayá. Se plantea el compostaje como alternativa para llevar a cabo procesos de degradación y valorización de residuos y así obtener productos útiles y de valor agregado con el fin de generar un impacto ambiental, económico y social positivo. Para los cálculos se estableció un caudal de alimentación de residuos orgánicos de 60 kg, lo que otorgó como resultado 46 kg de producto de compostaje tras el tiempo de procesamiento de 8 semanas a lo largo de tres etapas: latencia, activación y maduración. La logística, diseño y planificación del proyecto permitieron establecer propuestas para que se materializase una planta de tratamiento dentro de las instalaciones de la USFQ en su granja experimental en Puembo, inversión que trae consigo beneficios como ahorro en material para plantar y cultivar, disminución de recursos para el tratamiento de basura, aprovechamiento de espacios de la universidad y recuperación de material potencialmente reutilizable.

Palabras clave: Bioproceso, compostaje, impacto ambiental, iniciativa social, manejo de basura, productos de valor agregado.

ABSTRACT

In this integrative project, the result of joint work between various departments, including the College of Hospitality, Culinary Arts and Tourism, the Office of Innovation and Sustainability, and the Department of Chemical Engineering of the San Francisco de Quito University, a process for the treatment of organic waste from both the food services that have an agreement with the institution and gardening activities in the main campus in Cumbayá has been designed. Composting is proposed as an alternative to carry out waste degradation processes and thus obtain useful and value-added products in order to generate a positive impact in scenarios such as the environment, economy and society. For the calculations, an organic waste feed flow of 60 kg was established, which resulted in 46 kg of composting product after a processing time of 8 weeks through three stages: lag, activation and maturation. The logistics, design and planning of the project made it possible to establish proposals for a treatment plant to materialize within the facilities of the university's experimental farm in Puembo, an investment that brings benefits such as savings in material for planting and cultivation, reduction of resources for waste treatment, use of spaces at the university and recovery of potentially reusable material.

Key Words: Bioprocess, composting, environmental impact, social initiatives, waste management, value-added products.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	10
1.1 Antecedentes.....	10
1.1.1 Universidad San Francisco de Quito y su comunidad.....	10
1.1.2 Logística en base a la demanda alimenticia.....	10
1.1.3 Generación de residuos y desechos.....	11
1.2 Justificación del proyecto.....	11
1.3 Objetivos del proyecto.....	12
1.3.1 Objetivo General.....	12
1.3.2 Objetivos Específicos.....	13
1.4 Resultados esperados.....	13
2. BASES DE DISEÑO.....	14
2.1 Descripción de producto.....	14
2.2 Descripción de materias primas.....	16
2.3 Selección de proceso.....	17
2.4 Terminología especializada.....	19
2.5 Posible ubicación del proyecto.....	19
2.6 Limitaciones.....	20
2.7 Normas y legislación.....	21
3. PROCESO DE COMPOSTAJE.....	21
3.1 Compostaje como bioproceso para el tratamiento de residuos.....	21
3.2 Condiciones de compostaje.....	23
3.3 Lixiviados.....	25
4. DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO.....	25
4.1 Compostera.....	26
4.2 Materiales de la compostera.....	27
4.3 Trituradora.....	27
4.4 Etapa de maduración.....	28
5. PROPUESTA DE INSTALACIÓN.....	28
5.1 Equipo de trabajo.....	28
5.2 Ubicación y espacio físico.....	29
5.3 Elementos seleccionados.....	31
5.4 Operación del proceso acorde a planteamientos del equipo de trabajo.....	32
5.5 Diagramas de construcción e instalación.....	33
5.6 Requerimientos.....	34
6. MODIFICACIONES Y VARIACIONES EN EL PROYECTO.....	35
6.1 Decisión final.....	35

6.2 Nueva oportunidad.....	36
6.3 Modificaciones al diseño base y resultados.....	36
7. CONCLUSIONES.....	37
8. RECOMENDACIONES.....	39
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	41
10. ANEXOS.....	45
10.1 Anexos de bases de diseño.....	45
10.2 Anexos de diseño de proceso.....	46
10.3 Anexos de cotizaciones.....	49
10.4 Anexos de modificaciones al proyecto.....	50

CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de bloques del proceso de tratamiento de residuos orgánicos.....	18
Figura 2. Diagrama explicativo sobre un bioproceso.....	22
Figura 3. Diagrama de flujo del proceso de tratamiento de residuos mediante técnicas de compostaje.....	26
Figura 4. Ubicación geográfica para la propuesta de instalación del proyecto visto desde Google Maps, escala 1:200.....	29
Figura 5. Área verde tras edificio Aristóteles.....	30
Figura 6. Plataforma ubicada detrás de edificio Aristóteles.....	30
Figura 7. Trituradora Modelo CV5, Marca CEVACOS SC.....	31
Figura 8. Compostera Modelo EARTHMAKER, Marca KONTRÖLGRÜN, Distribuidor PURIFWATER.....	31
Figura 9. Diagrama de instalación de las composteras y trituradora en la plataforma.....	33
Figura 10. Diagrama de instalación de la etapa de maduración, construcción de cobertura contra lluvias y sistema de recolección de lixiviados.....	34

CONTENIDO DE FIGURAS EN ANEXOS

Figura 11. Cotización de composteras para generar una estimación económica general del proyecto.....	49
Figura 12. Cotización de trituradora para generar una estimación económica general del proyecto.....	49

CONTENIDO DE TABLAS EN ANEXOS

Tabla 1. Normas y legislaciones para generar un proceso de compostaje.....	45
Tabla 2. Factores de diseño.....	46
Tabla 3. Balance de masa, en kilogramos, del proceso general.....	46
Tabla 4. Dimensionamiento de compostera.....	47
Tabla 5. Requerimiento energético de trituradora.....	47
Tabla 6. Dimensionamiento de espacios de maduración.....	48
Tabla 7. Balance de masa, en kilogramos, del proceso general con el caudal al 50 %.....	50
Tabla 8. Balance de masa, en kilogramos, del proceso general con el caudal al 125 %.....	50
Tabla 9. Balance de masa, en kilogramos, del proceso general con el caudal al 150 %.....	51
Tabla 10. Balance de masa, en kilogramos, del proceso general con el caudal al 175 %.....	51
Tabla 11. Balance de masa, en kilogramos, del proceso general con el caudal al 200 %.....	52
Tabla 12. Resultados comparativos que se obtienen al modificar el caudal.....	52
Tabla 13. Requerimiento energético en función de la modificación del caudal.....	53
Tabla 14. Variación en los espacios de maduración en función de cada caudal.....	53

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

1.1.1 Universidad San Francisco de Quito y su comunidad

Desde el año 1988, cuando se fundó la Universidad San Francisco de Quito, la comunidad generada alrededor de esta institución ha ido creciendo hasta actualmente contar con alrededor de 10 000 estudiantes, aproximadamente 300 profesores a tiempo completo y cerca de 160 trabajadores que colaboran en las actividades de cada día. Adicionalmente a la numerosa comunidad se suman más miembros a través de diversos programas como la red Alumni o Contacto Empresarial (USFQ. 2021). De esta manera, se aprecia que el hablar de esta universidad se debe incluir a todas las personas que transitan e influyen en el dinamismo de sus instalaciones; un alcance expansivo que inició con 12 personas, en una casita ubicada en la Av. Isabela Católica, bajo la filosofía de las artes liberales.

1.1.2 Logística en base a la demanda alimenticia

El requerimiento de satisfacer una de las necesidades humanas, como lo es la alimentación, hace que la producción de elementos consumibles se ajuste al modelo poblacional que transita por la institución. De los 16 proveedores de servicios que se encuentran bajo convenio con la Universidad San Francisco de Quito, 8 de ellos ofrecen productos alimenticios, los mismos que son fabricados y/o comercializados en las proximidades de los espacios utilizados para estudiar (USFQ. 2021). De igual manera, en las zonas aledañas a la Universidad San Francisco de Quito se hallan locales y negocios que brindan productos para complementar la satisfacción de necesidades de la comunidad USFQ. Es así que se emplean recursos para generar alimentos pero, a su vez, se generan residuos que, por leyes y normativas, deben ser correctamente destinados ya sea para su tratamiento o para su desecho como basura.

1.1.3 Generación de residuos y desechos

Debido a la generación de productos alimenticios consumibles, existe la consecuente creación de residuos como resultado de partes que no son utilizadas; por ejemplo: tallos de hortalizas, semillas y troncos de frutas, cáscaras de diferentes productos, entre otros. En un balance general, se estima que hasta un 34 % en peso del total de producción de alimentos pasa a ser residuos, esto también se debe a que muchos alimentos se dañan o pudren y dejan de ser utilizables (Gutiérrez, R. Infante, S. 2018). El tratamiento de este tipo de residuos permite obtener una alternativa para recuperar la utilidad de minerales y nutrientes todavía funcionales; el compostaje, para fines de este proyecto integrador, se postula como el medio por el cual se generaría esa revalorización en la mezcla conjunta con restos de jardinería que se producen en la misma institución.

1.2 Justificación del proyecto

La economía es uno de los pilares sobre los que se va a incidir con este proyecto; se estima que el producto resultante del tratamiento de residuos orgánicos represente un ahorro a la institución, de manera que pueda hacer uso del mismo en vez de proceder a comprarlo de un proveedor externo. En el Ecuador, el precio del producto de compostaje por kilogramo se encuentra desde USD 59.50 por un producto de producción nacional hasta USD 178.50 por un producto extranjero tras su importación, factor que indica que este proyecto permite obtener beneficio. Otro de los aspectos que se espera es mitigar y producir un ahorro en el transporte de desechos que no pueden ser despojados comúnmente a través de los horarios de recolección de basura, donde la implicación de movilización de desechos constituye un valor de aproximadamente USD 8.33 por cada tonelada (Jara-Samaniego, J. et al. 2016).

Por parte del diseño del proceso, la adquisición de equipos y maquinaria para generar el compostaje recae en una inversión, la misma que está sujeta a ser revisada por autoridades

de la Universidad San Francisco de Quito para su aprobación. La inversión consta en la adquisición de equipos como composteras o maquinarias como trituradoras y la adecuación de áreas para que se otorgue el debido tratamiento a los residuos orgánicos. Los precios de las composteras en el mercado nacional para el alcance de este proyecto oscilan entre USD 1 000 y USD 1 100. Sin embargo, para la magnitud de este proyecto, se recopilieron valores de alrededor de USD 500 por una trituradora de suficiente capacidad. Estos valores de inversión mencionados tienen el contraste de representar un beneficio por cuanto prosperen las operaciones y su producto pueda ser utilizado en la misma institución.

La operación del proceso descrito en el presente diseño es de suma relevancia para mantener esta iniciativa eficazmente a lo largo del paso del tiempo. Al constituir la infraestructura dentro de las instalaciones de la institución, la operatividad y manutención del proyecto pasan a adherirse a la administración de la universidad, es así que la misma dispondrá del personal y operación del proceso. Por otra parte, el equipamiento necesario para la operación, por ejemplo bolsas de basura y equipo de protección personal, será costado con la aprobación del proyecto, rubro que se estima que aunque no pasará de los USD 200 al mes, es significativo y un costo adicional para la universidad. Por todo lo expuesto anteriormente, se requiere que tanto el diseño del tratamiento de desechos orgánicos para su conversión en producto de compostaje, al igual que todo el proyecto y su implementación sean de bajo costo, con rendimientos eficaces y obteniendo productos útiles con valor agregado.

1.3 Objetivos del proyecto

1.3.1 Objetivo General

Diseñar e implementar un proceso de tratamiento de residuos orgánicos en la Universidad San Francisco de Quito mediante la aplicación de técnicas de compostaje para reducir su impacto ambiental y dar valor agregado a elementos potencialmente útiles.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Definir las condiciones más adecuadas para un proceso de compostaje de bajo costo a partir de residuos orgánicos.
- Establecer maquinaria y equipos necesarios para las condiciones definidas para el proceso de compostaje que puedan ser implementados dentro de las instalaciones de la universidad.
- Generar una propuesta de implementación del diseño realizado de acuerdo a las intervenciones y circunstancias del equipo interdepartamental.

1.4 Resultados esperados

Según Kumar Awashi, S. et al. (2019), al año se producen 1.3 billones de toneladas de residuos de alimentos y esa cantidad está sujeta a incrementarse conforme pasa el tiempo. El mal manejo de residuos hace que este tipo de material termine en espacios de relleno sanitario donde es foco de mezcla con más sustancias que resultan en productos nocivos, tales como lixiviados, para el medio ambiente. El compostaje se presenta como una alternativa a procesos de desecho tradicionales, con el potencial de transformar gran parte de los 1.3 billones de toneladas de residuos de manera que ya no vayan a ser dirigidos a espacios de rellenos, ni consten en la economía solamente como un costo por el tratamiento de este tipo de material. Con el compostaje se espera disminuir el impacto ambiental y tener beneficios en recursos económicos que normalmente se destinan a la gestión de basura.

Por otro lado, como una propuesta para marcar el ahorro tanto de la universidad como para el ente municipal que se encuentre encargado del tratamiento de basura, el proceso de tratamiento de residuos orgánicos representa una inversión inicial significativa; todo el tema que comprende el manejo de basura conlleva una logística de por medio, lo que involucra recursos humanos, territoriales, maquinaria y tiempo. Todos estos recursos mencionados se

traducen en manejar balances económicos donde se incide con efectivo desde la recolección hasta la deposición del material en su última ubicación para su eliminación y la metodología aplicada (Martínez-Sánchez, V. et al. 2014). Es así que el diseño propuesto promete ser un foco de beneficios al no ser una articulación compleja de procesos que requieran recursos, pero sí busca brindar una solución de bajo costo.

Como último resultado, se espera tener un impacto sobre el ámbito social. Dentro de la universidad ya se poseen ideas materializadas sobre formas de erradicar el impacto ambiental, entre ellas se tienen el reciclaje, separación de residuos con fines de tratamiento, erradicación de emisiones de carbono, entre otras. Este proyecto busca incentivar la generación de ideas y proyectos sostenibles y sustentables que tengan como fin una causa noble, también se espera ayudar y colaborar en la explotación de continuidad de demás proyectos bajo la misma línea. Como se puede apreciar, con la realización de estos proyectos se incursiona en la sociedad para desarrollar sus capacidades y evolucionar tanto sus hábitos y costumbres hacia un futuro prometedor con resultados beneficiosos.

2. BASES DE DISEÑO

2.1 Descripción de producto

El presente proyecto posee tanto un producto principal como un subproducto; se tiene el diseño de un proceso de tratamiento de residuos orgánicos mediante técnicas de compostaje como el producto principal y, a manera de subproducto, se plantea que el resultado sea un elemento de valor agregado obtenido a partir del primero. Este último se obtendría después de la implementación de diferentes recursos que permitan aprovechar material útil que se procede a desechar después de su primer uso o consumo. Tanto el diseño como el producto de compostaje son el motivo principal del desarrollo de este proyecto integrador que tiene como

fin frenar el impacto ambiental, tratar residuos generados por una institución y dar continuidad a la economía circular.

El diseño del proceso de tratamiento de residuos orgánicos integra un sistema de compostaje, el mismo que según Aziz, S. Omar, I. Mustafa, J. (2018) se presenta como una alternativa de manejo de residuos que son mal administrados por diversas organizaciones y disminuyen el caudal de alimentación de rellenos sanitarios. Otra de las razones por las que se incentiva el compostaje es debido a la alta recuperación que se obtiene de los residuos más comunes que se generan, como lo son frutas, vegetales y cereales, entre otros. De esta manera, se espera un proceso de degradación rápida, eficaz en función del resultado esperado, y valioso en referencia al impacto que se pueda recibir tras la implementación de esta iniciativa.

De la calidad de los materiales depende la aplicabilidad del producto que genera el tratamiento de residuos orgánicos, los materiales que se ven involucrados en un sistema de compostaje son residuos orgánicos, los mismos que todavía poseen nutrientes, además de presentar carbohidratos, proteínas y lípidos, que se pueden recuperar tras un debido proceso (Kumar Awashi, S. et al. 2019). La interacción entre estos compuestos más partes de tierra y desechos de jardín hacen que la materia orgánica proveniente de alimentos residuales tenga una degradación más aprovechable para generar productos de valor agregado; es entonces que el beneficio se presenta en diversos ámbitos como lo son el impacto ambiental y la economía.

Junto con la parte organizadora del proyecto, el Smart Campus Group, se estableció el tratamiento de un caudal de 60 kg de residuos orgánicos provenientes de las cocinas y puntos de abastecimiento de alimentos de la USFQ al día. El diseño del proyecto está compuesto para que el proceso se pueda llevar a cabo sin contemplar inconvenientes mediante ciclos continuos que pueden llegar a abarcar 8 semanas en diferentes etapas. Se espera, de igual manera, que los recursos que vayan a ser necesitados sean de fácil acceso y representen,

además de una inversión, un ahorro en recursos económicos y la erradicación de la disposición externa de estos desechos.

2.2 Descripción de materias primas

Las materias primas necesarias para llevar a cabo compostaje son diversas; entre ellas se encuentran: residuos orgánicos, estiércol, residuos de jardinería y tierra; sin embargo, no es obligatorio el uso de todas al mismo tiempo sino que depende del diseño del proceso y del grado de descomposición que se espera obtener de la materia orgánica (Guo, X. Liu, H. Wu, S. 2019). En este proyecto se ha decidido usar residuos orgánicos provenientes de residuos alimenticios y restos de jardinería por la disponibilidad directa dentro de la institución, incluyendo el uso de tierra cuando sea posible conseguirla. Estudios desarrollados con fines investigativos muestran que, aparte de las materias primas ya mencionadas, se pueden agregar aditivos como viruta o aserrín, perlita, vermiculita y zeolita, los que permiten asegurar propiedades como la humedad para una mejor degradación de la materia conforme pasa el tiempo (Margaritis, M. et al. 2017).

Tanto los residuos orgánicos como los restos de jardinería tienen como procedencia la misma institución donde se va a implementar este proyecto, la Universidad San Francisco de Quito. Los residuos orgánicos provienen de las cocinas de los servicios que elaboran y puntos de venta que comercializan alimentos que tienen convenio con la universidad; sin embargo, no todo el material recolectado entra al compostaje. Si bien los restos provenientes de alimentos como frutas y verduras contienen altos niveles aprovechables de lípidos, carbohidratos y humedad (Guo, X. Liu, H. Wu, S. 2019), elementos como productos cárnicos, huesos, aceites y salsas distorsionan el proceso de compostaje y su uso no es recomendable (Fernández, A. 2015). De igual manera, los restos de jardinería contienen niveles óptimos de razones entre carbono y nitrógeno, porosidad y baja humedad que se puede aprovechar para

mezclar con las partes orgánicas de cocina y obtener un producto con alta calidad para servir como alimentación a un proceso de compostaje.

Después de tratar a la materia orgánica junto con los residuos de jardinería, se espera que el producto sea un compuesto alto en nutrientes y minerales, elementos que provienen de los residuos alimenticios y recursos de los suelos, y que este producto pueda ser implementado en plantaciones tanto industriales como ornamentales. Tanto el producto del compostaje así como sus materias primas no requieren consideraciones estrictas de seguridad, o para su manejo ni transporte, puesto que son recursos naturales y elementos de la vida cotidiana y, durante el proceso de compostaje, no entran en contacto directo con las personas.

2.3 Selección de proceso

El proceso de tratamiento de residuos orgánicos empieza por la preselección y recolección de los mismos de las cocinas de los servicios de elaboración y comercio de alimentos que tienen convenio con la institución; todo este material pasa por una separación donde se extraen los elementos que no entran al compostaje como los mencionados en el inciso anterior y se mezclan. Con el material ya preseleccionado, se procede a una trituración para homogenizar la materia y luego retirar la humedad excedente. Al compostaje, el mismo que se lleva a cabo en recipientes diseñados para permitir la aireación selectiva de los desechos, entra el material que ha sido deshumificado parcialmente junto con los desechos de jardinería, aunque no se limita a futuros trabajos el analizar o implementar aditivos. Todo este material compostado pasa a una etapa de maduración y finalmente es recolectado para obtener el producto final listo para ser utilizado.

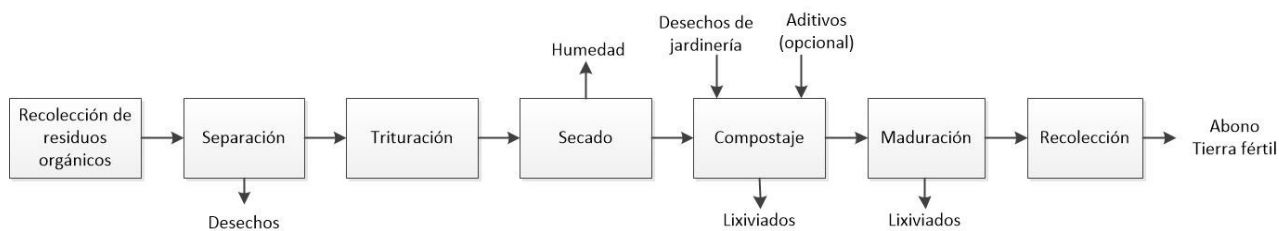


Figura 1. Diagrama de bloques del proceso de tratamiento de residuos orgánicos.

El mecanismo de compostaje seleccionado fue la degradación aerobia, lo que comprende el uso de oxígeno proveniente del aire para diversas funciones como regular temperatura, dotar a microorganismos de recursos para su mejor funcionamiento y obtener un resultado eficiente a partir del material inicial. Otro de los mecanismos de compostaje que se puede mencionar es el llamado vermicompostaje, que implica el uso de lombrices para que se encarguen de digerir la materia; el inconveniente al usar este método es que estos organismos viven en condiciones más estrictas, se enfocan en materiales selecto, y se debe monitorear y controlar el compostaje con elevada frecuencia (Fernández, A. 2015).

Dentro del compostaje, además de residuos orgánicos y residuos de jardinería, se pueden llegar a implementar aditivos tras un respectivo estudio y análisis de efectividad. Los principales aditivos pueden ser los antes mencionados aserrín, perlita, vermiculita y zeolita, los mismos que han presentado mejoras en la distribución y progreso de temperaturas a lo largo del tiempo de compostaje (Margaritis, M. et al. 2017). Un elemento que también puede ser agregado es estiércol pero no cualquier especie del mismo; una restricción es el uso de estiércol de animales caseros, pues su dieta no genera resultados óptimos para ser aplicados y pueden crear infecciones. Por esta razón se prefiere el estiércol de animales herbívoros ya que generan enzimas con mayor actividad degradante (Fernández, A. 2015). Tras una reflexión sobre las distintas variaciones en el mecanismo de compostaje y los requerimientos para cada una, se resuelve que el método base para el diseño de este proyecto es el de uso de microorganismos propios del material de compostaje, uno de los más caóticos en lo que refiere a microorganismos ya que se han hallado variedades de los mismos cuando se ha

implementado estiércol. Este no es un hecho contraproducente ya que estos agentes ayudan en la degradación y se obtienen lixiviados que pueden ser aprovechados como fertilizantes líquidos (Partanen, P. et al. 2010), no se limita a un estudio de aprovechamiento de la generación de este subproducto.

2.4 Terminología especializada

Residuo: Parte o porción que queda de un todo.

Desecho: Aquello que queda después de haber escogido lo mejor y más útil de algo.

Compostaje: Biodegradación o descomposición aerobia de materiales orgánicos a través de microorganismos bajo condiciones controladas

Orgánico: Dicho de una sustancia que tiene como componente el carbono y que forma parte de los seres vivos.

Recuperar: Volver a poner en servicio lo que ya estaba inservible.

Valor agregado: Incremento del valor de un bien como consecuencia de un proceso productivo o de distribución.

Impacto ambiental: Conjunto de posibles efectos sobre el medio ambiente de una modificación del entorno natural, como consecuencia de obras civiles u otras actividades.

2.5 Posible ubicación del proyecto

El presente proyecto está planteado a realizarse dentro de las instalaciones de la Universidad San Francisco de Quito en su campus de Cumbayá ubicado en la Av. Diego de Robles s/n y Av. Interoceánica. Cumbayá es uno de los valles aledaños a Quito, capital de la República del Ecuador, a unos 20 o 30 minutos de viaje en vehículo, se encuentra a 2 355 m.s.n.m. El clima de esta zona tiene variaciones donde la temperatura más alta en verano se acerca a 28 °C y la más fría en invierno es 3 °C. La universidad es parte de un sector que se

encuentra en crecimiento a 5.2 % según censos poblacionales (USFQ. 2021). La ubicación se muestra como un punto de incursión ya que se presencia un panorama dinámico al ser parte de un modelo poblacional creciente y en constante desarrollo, posee todas las facilidades y promete llegar a ser un asentamiento socialmente responsable tanto con el ambiente como con su comunidad.

Otra oportunidad de ubicación del proyecto es en Puembo, una localidad más distante a Quito pero en las proximidades de Cumbayá y Tumbaco. La Universidad San Francisco de Quito posee el arriendo de una propiedad, ubicada a 30 minutos en vehículo, para ámbitos prácticos de la carrera de Ingeniería en Agronomía, departamento que pasa a formar parte del grupo de trabajo para esta iniciativa. Puembo posee un clima templado y es foco de desarrollo productivo al dar paso y facilidades, tanto naturales como industriales, para que se desarrollen actividades que contemplen flora y fauna en abundancia. Esta alternativa permite generar más opciones de ubicación para concretar la instalación de un sistema de tratamiento de residuos orgánicos en caso de que las instalaciones de la universidad se limiten.

2.6 Limitaciones

La principal limitación para realizar este proyecto es la administración del mismo dado que, tanto la universidad como las demás partes que manejan los recursos disponibles al implementar físicamente el diseño, esperan la satisfacción de sus necesidades y la manutención de todos los planteamientos después de materializar la iniciativa. Otra limitación son las normas y legislaciones que se deben cumplir al adecuar el espacio físico para instaurar el proyecto dentro de las instalaciones de la universidad, se rigen leyes de construcción en el campus, leyes de propiedad horizontal, entre otras expuestas en la Tabla 1 de anexos.

La convivencia entre el proyecto y la comunidad USFQ es otra limitante decisiva; esta relación puede permitir que el proyecto perdure dentro de las instalaciones del campus

principal en Cumbayá. El tratamiento de residuos orgánicos mediante compostaje abarca, además de espacio superficial, emisión de olores y gases que pueden incomodar en la realización de actividades diarias. Las decisiones que se establezcan a partir de este proyecto serán tomadas en consenso con la administración del mismo y con autoridades de esta institución educativa.

2.7 Normas y legislación

Según Calahorrano, W. Quispe, B. (2017), un proyecto de compostaje percibe normas y legislaciones que abarcan personas dentro de comunidades, su convivir, su bienestar y su relación con el medioambiente. En la Tabla 1 de la sección de anexos se establecen las legislaciones y los artículos que se deben tomar en cuenta para desarrollar un proyecto de esta clase. De entre todos los artículos planteados se destacan los que impulsan el tratamiento de residuos, como el Programa Nacional para la Gestión Integral de Desechos Sólidos y NTE INEN 2841, y los que regulan las actividades de generación de residuos, como Ley Orgánica de Salud y Ley de Gestión Ambiental.

3. PROCESO DE COMPOSTAJE

3.1 Compostaje como bioproceso para el tratamiento de residuos

Para llevar a cabo el presente proyecto integrador, el compostaje fue considerado como bioproceso para tratar residuos orgánicos para que por diferentes agentes bajo condiciones específicas entregue como resultado una combinación entre nuevos productos útiles y materias primas secundarias aplicables en diferentes industrias (Doran, P. 1995). La alimentación para el proceso de este proyecto es una mezcla variable entre residuos de cocina y desechos de jardín, la cual va a procesarse y generar tanto un producto como subproducto que dependerá de la composición de la alimentación.

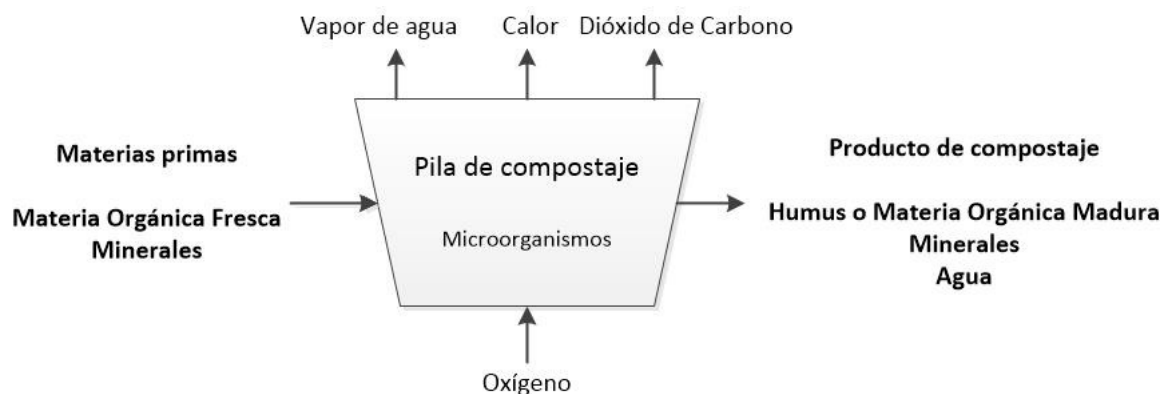


Figura 2. Diagrama explicativo sobre un bioproceso.

La alimentación fue implementada como una mezcla entre residuos orgánicos y desechos de jardín, la misma que lleva una relación 17:3 en masa según Yang, F. et al. (2018). La razón por la cual se plantea dicha relación en masa es debido a que considera la cantidad de materia que se puede aprovechar a partir de los residuos orgánicos, el dinamismo que afronta con los desechos de jardín y es adecuada para procurar que exista menos emisión de olores durante las etapas de compostaje y maduración. La relación másica también está fundamentada en obtener un beneficio de degradación gracias a la relación C/N, es decir, a los componentes básicos aprovechables que los residuos traen consigo. Los residuos contienen altos niveles de lípidos y demás compuestos como celulosa, pectina, y lactosa, entre otras, elementos de los que microorganismos, elementos explicados en la sección 3.2, pueden hacer uso, es así que benefician el producto y subproducto (de Bertoldi, M. Insam, H. 2007).

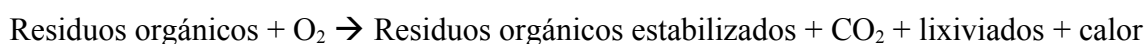
Anteriormente se planteó 60 kilogramos como el caudal de residuos orgánicos por tratar en cada ciclo de trabajo donde uno de ellos llega a durar 8 semanas en total entre 1 semana de compostaje y 7 semanas de maduración, que es donde se estabilizan las condiciones como temperatura, humedad o actividad celular después de haber otorgado el tiempo necesario para una degradación eficaz. No obstante, tras la primera semana de proceso se espera obtener 46 kilogramos semanales de material de compostaje bajo los datos recopilados de Chen, Y. Hadar, Y. Inbar, Y. (1993). Este último dato muestra que al momento inicial del proceso de compostaje, cuando los compuestos recién están en el espacio adecuado,

la humedad en el sistema es alta y disminuye conforme pasa el tiempo, la temperatura se incrementa a un rango entre 45 °C y 60 °C desde temperatura ambiente; se tiene que a los 7 días de compostaje se ha removido una parte de este factor correspondiente al 25 % en peso y 10 % en volumen y la temperatura ha descendido hasta estabilizarse a temperatura ambiente otra vez.

3.2 Condiciones de compostaje

Al tratarse de un bioproceso, las condiciones de operación son fundamentales y se interrelacionan de manera compleja. Dentro de un proceso de estas características, las variables que se toman en cuenta son: temperatura, suministro de oxígeno y agentes degradantes; cada uno de los factores mencionados anteriormente se presenta y aporta de diferente forma en el proceso de degradación de los residuos orgánicos en su tarea por generar un producto de valor agregado. De manera breve y concisa se ha hablado sobre lo que representa un bioproceso, pero lo que le da su nombre es el hecho que lleva vida de por medio; un bioproceso se denomina así por el hecho de llevar vida como mecanismo de reacción. Según de Bertoldi, M. Insam, H. (2007), en 1933 se comprobó por primera vez que el aumento de temperatura en un sistema de compostaje era el resultado de la existencia de actividades biológicas. De esta manera se puede pensar que, aún sin agregar microorganismos de manera explícita, agentes degradantes se ven involucrados en diversos mecanismos de compostaje. De entre un universo de microorganismos, tres clases se ven envueltos en este tipo de actividades, las cuales son: bacteria, archaea y fungi; cada distinción con sus respectivos métodos de cultivo, crecimiento y condiciones de preferencia en la supervivencia. La actividad que se genera a muy bajas escalas es el motor del mecanismo de degradación de la materia que gobierna en el compostaje.

De mano de lo que es la intervención de microorganismos en mecanismos de compostaje se abordan temas de dotación o requerimiento de oxígeno y de variación temperatura. Todo el proceso de compostaje, según Finstein, M. Miller, F. y Strom, P (1986) se puede reducir a términos generales dentro de una reacción en medio de metabolismo microbiano:



De esta manera se puede apreciar que el oxígeno es un componente que ayuda a la existencia de bacterias, fungis y demás seres para generar amplios productos por medio de sus metabolismos. Es a través de este estatuto que uno de los principales requerimientos del proyecto es que la adecuación el espacio donde se vaya a instalar la compostera contemple aireación, la cual provea oxígeno y así se puede dar viabilidad a la vida del proceso de degradación seleccionado.

El bioproceso de compostaje consta de tres fases: latencia, activación y maduración. Cada una de las fases tiene características que las diferencian y pueden ser identificadas fácilmente. La fase de latencia arranca cuando se instaura el mecanismo de compostaje bajo condiciones selectas como lo son la relación másica y calibración de suministro de oxígeno, es entonces cuando los microorganismos empiezan a adaptarse y a hacer uso de los componentes que se hallan en los residuos y se produce tanto nutrientes como una ligera elevación en la temperatura. La fase de activación continúa con un crecimiento de cultivo celular de los tres tipos de microorganismos mencionados debido al aprovechamiento de materia y dotación de oxígeno, también se percibe un aumento notable de temperatura. La fase de maduración recae cuando el pH se estabiliza, los microorganismos empiezan a perder actividad y tanto la temperatura como la humedad descienden (Aziz, S. Omar, I. Mustafa, J.

2018). Para este proyecto se planteó que la fase de latencia tenga la duración de una semana o 7 días debido a la alta degradación de materia que representa, luego pasa a la etapa de maduración de otras 7 semanas hasta que el producto sea estable y pueda ser utilizable sin presentar más transformaciones de materia. Con estas directrices, se espera que tanto el mecanismo como el proceso puedan ser fructíferos en la generación de abono o tierra fértil.

3.3 Lixiviados

En función de la actividad de los microorganismos en el medio de compostaje, uno de los subproductos que se generaría en el proyecto son lixiviados líquidos. Los lixiviados se presentan como una mezcla de sustancias líquidas provenientes del sistema de compostaje, muchas veces por la acción de metabolismo que presentan bacterias, archaeas y fungi. En el caso general de compostaje, los lixiviados obtenidos están compuestos en gran cantidad por ácido láctico y etanol, elementos que también son de valor agregado (Hurley, S. Shrestha, P. Cording, A. 2017). Estas sustancias llegan a tener aplicación en campos más dedicados hacia sus análisis y aprovechamiento, lo que este proyecto puede aportar a lo largo de 8 semanas de proceso que correspondería a una suma aproximada de 7 kilogramos de lixiviados de compostaje; también se pueden emplear como fertilizantes líquidos por el resto de componentes altos en nutrientes y minerales.

4. DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO

El proceso, en general, está compuesto por diversas operaciones unitarias; entre ellas hay operaciones de separación de sólidos, trituración, secado, compostaje y maduración. Operaciones de separación de sólidos plantean el remover impurezas o elementos que no entren al compostaje de material útil para degradar, de donde se espera que se extraiga el 1 % en masa de la cantidad inicial en conformidad a lo expuesto en la sección 2.2 del presente

trabajo. Operaciones de secado postulan la remoción de humedad de los componentes hasta en un 5 % en peso de material orgánico (Chen, Y. Hadar, Y. Inbar, Y. 1993), para este caso se determina el secar los elementos al aire libre en espacios disponibles dentro de las instalaciones del proyecto. Las operaciones expuestas, a excepción de compostaje y trituración, están sujetas a bases empíricas y se espera que su labor dentro del proceso de compostaje sea momentánea y eficaz.

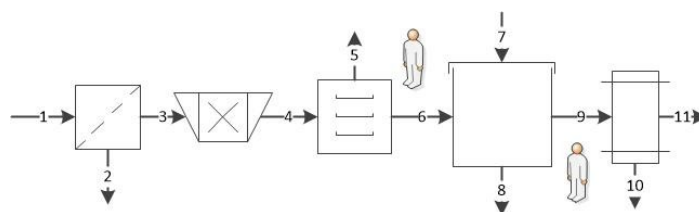


Figura 3. Diagrama de flujo del proceso de tratamiento de residuos mediante técnicas de compostaje.

4.1 Compostera

En el anterior capítulo se estableció que uno de los requerimientos era mantener la instalación de la compostera en un lugar donde exista circulación de aire que lleve oxígeno para la viabilidad del proceso de degradación en función de los microorganismos. Las composteras a utilizarse dentro de este proyecto están clasificadas como sistemas en recipiente, lo que según Aguilar, G. Bravo, K. (2020), implica que estén adecuadas o modificadas para proteger al material de fuertes vientos, evitar acumulación de lluvias, facilitar la operación y dar paso a flujos de aire como suministro de oxígeno y emisión de gases. De esta manera se tienen equipos óptimos donde se pueda llevar a cabo el proceso de compostaje y puedan ser propuestas para su instalación en espacios de la universidad.

Las variables tomadas en cuenta para establecer las dimensiones de una compostera adecuada para el presente proyecto fueron la masa y volumen de la corriente de alimentación al proceso. Según balances de masa generados, los caudales de alimentación que ingresan a la compostera son 56 kg de residuos orgánicos y 10 kg de restos de jardinería, los cuales tienen

densidades aparentes de 1 kg/L y 0.5 kg/L respectivamente, (Pillaga, L. Pomaquiza, D. 2015). Al obtener una mezcla, se establece que el requerimiento volumétrico es de 0.0764 m³ por ciclo, lo que al afrontar un sobredimensionamiento del 20 % la cifra aumenta a 0.0916 m³. El fin de tener dimensiones de una compostera ya avanza mucho en la materialización del proyecto dado que se puede seguir con el debate entre comprar el material y fabricar el equipo o adquirir composteras que se oferten en el mercado.

4.2 Materiales de la compostera

Los materiales más frecuentes para ser implementados en diseños de composteras son: madera, metal y plástico. Para la realización de este proyecto se determinó que el plástico tiene más ventajas sobre los otros elementos. A parte de ser comúnmente utilizados en América Latina (Aguilar, G. Bravo, K. 2020), las composteras hechas a base de plástico inician como recipientes grandes que, después de ser modificados, son aptos para que se puedan generar procesos de descomposición y degradación dentro de ellos de bajo condiciones establecidas. El plástico pesa menos que el metal y la madera, se pueden obtener recipientes ya elaborados y evitar la aplicación de recursos para dar forma de composteras a los otros diferentes materiales, existe disponibilidad en el mercado a precios menores que los demás, requiere menos adaptaciones para que se lleve a cabo el tipo de bioprocesos como lo es el compostaje, brinda facilidades de limpieza e impide el desgaste por adherencia de sustancias.

4.3 Trituradora

El uso de una trituradora se fundamenta en la necesidad de reducir el tamaño de los residuos para que puedan ser fácil y eficientemente aprovechados por los microorganismos. Los residuos se presentarán de diversos tamaños, colores y olores, entre otras características,

y se busca es homogenizar la materia para que la degradación se produzca en menos tiempo; no es de interés de este proyecto el pulverizar al material que aún tiene potencial de ser utilizado.

Para calcular el requerimiento de energía de una trituradora para tratar la materia proveniente de las cocinas de servicios de la universidad y de actividades de jardinería fue necesaria la implementación de la ecuación mostrada en anexos junto a la Tabla 5. Mediante esa ecuación se obtiene, en primera instancia, un factor energético de trituración de materia en función del tamaño final de la partícula a obtener. El requerimiento energético se obtiene al aplicar ese factor y considerar la materia a tratar por ciclo, es así que se obtienen XX kW h.

4.4 Etapa de maduración

En referencia a la etapa de maduración explicada en las secciones 3.1 y 3.2 del presente proyecto, los requerimientos consisten en adecuar espacios para formar surcos en los que el material pueda reposar y terminar de formar un producto deseado. Para esto, conforme cálculos provenientes de balances de masa, se requiere la adecuación de 8 secciones con dimensiones de 0.60 x 0.35 x 0.40 metros donde exista fácil acceso a la operación tanto en el trabajo constante de mezcla como en la recuperación de lixiviados. Al final de este proceso, se espera obtener una cantidad de producto, sea abono o tierra fértil, disponible para su inmediata aplicación en diversos sectores.

5. PROPUESTA DE INSTALACIÓN

5.1 Equipo de trabajo

El presente proyecto es el producto del trabajo en conjunto de varios departamentos de la Universidad San Francisco de Quito, entre ellos se encuentran el Colegio de Hospitalidad, Arte Culinario y Turismo (CHAT), la Oficina de Innovación y Sustentabilidad (OIS) y el

Departamento de Ingeniería Química, además del área de Mantenimiento. La iniciativa empieza desde el CHAT a través de la estructuración de proyectos, es así que se genera la idea de “Sustainable CHAT: Sistema de Tratamiento de Residuos Orgánicos”. Este proyecto adquirió el apoyo de OIS para desarrollar aportes hacia un campus inteligente y potenciar otras ideas que la vez disminuyen diferentes desperdicios. El Departamento de Ingeniería Química es incluido para llevar a cabo el diseño de la planta de tratamiento de residuos y adecuar su instalación dentro de la universidad después de analizar cada uno de los requerimientos necesitados.

5.2 Ubicación y espacio físico

Tras conversaciones entre las partes involucradas en el proyecto, uno de los temas a tratar fue el espacio donde el proyecto va a instalarse. Al realizar una breve inspección hacia las áreas disponibles en la universidad, y tras la participación del área de Mantenimiento, se escogió el espacio detrás del edificio Aristóteles. El mencionado lugar se planteó como una oportunidad de aprovechar un espacio sin uso aparente dentro de la universidad, con una extensión suficiente como para realizar las debidas adecuaciones y establecer una planta piloto de tratamiento de residuos orgánicos. Tras la elección, se procedió a realizar una visita técnica para analizar el espacio en función de los resultados de los cálculos generados.

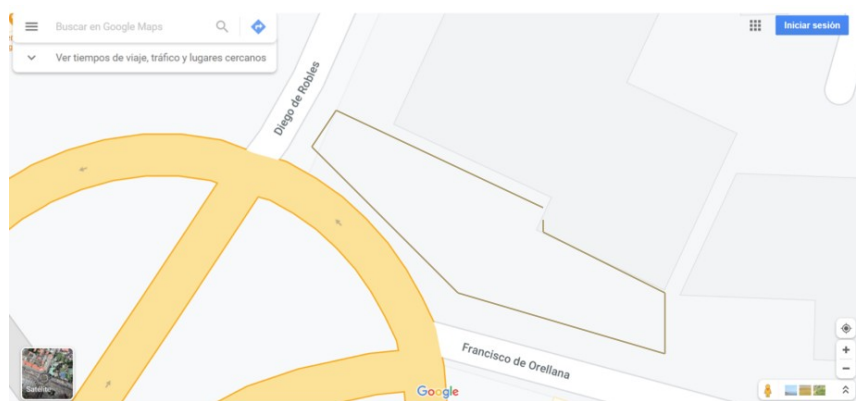


Figura 4. Ubicación geográfica para la propuesta de instalación del proyecto visto desde Google Maps, escala 1:200.



Figura 5. Área verde tras edificio Aristóteles.



Figura 6. Plataforma ubicada detrás de edificio Aristóteles.

Este espacio mostró ser adecuado para implementar los diferentes elementos que conforman la planta de tratamiento de residuos orgánicos. Los aspectos que permiten dar aceptación al lugar es que posee suficiente espacio para instalar el proyecto, se contemplaron flujos constantes de aire y existe la facilidad de acceso tanto peatonal como de transporte de materia desde diversos puntos de la universidad. Entre las limitaciones de usar este espacio se encuentra la convivencia entre el proyecto y las personas que frecuentan las inmediaciones del edificio Aristóteles, y las adecuaciones materiales que deban hacerse al terreno para que el proceso pueda funcionar. Esta ubicación tiene sus ventajas y desventajas que deben ser tratadas en consenso para que el proyecto sea viable y su instalación no represente desperdiciar recursos que después tengan que ser removidos.

5.3 Elementos seleccionados



Figura 7. Trituradora Modelo CV5, Marca CEVACOS SC.

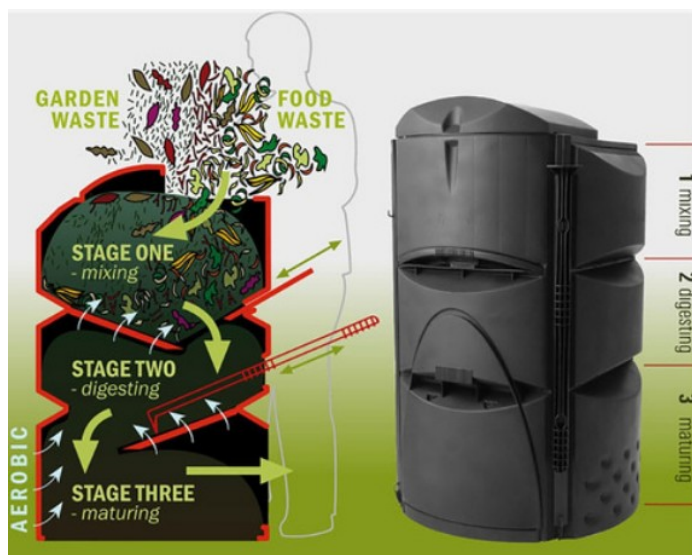


Figura 8. Compostera Modelo EARTHMAKER, Marca KONTROLGRÜN, Distribuidor PURIFWATER.

El material que recibe la compostera corresponde a 66 kilogramos por ciclo, lo que se traduce en 0.0916 m^3 al usar densidades aparentes encontradas en referencias bibliográficas. El modelo de compostera seleccionado tiene una capacidad de 400 L o 0.400 m^3 , de esta manera puede entrar el material de 3 ciclos de trabajo a la vez. De igual manera, el modelo presenta facilidades como separación de compartimentos, barras para agitar al material que se encuentre dentro y canales por donde entran flujos de aire. Por otro lado, tras el asesoramiento de entidades comerciales y el planteamiento del requerimiento de energía, se encontró la

mejor propuesta de una trituradora para homogenizar la materia residual. Estos dos equipos son los más necesarios para lograr procesos de degradación de material residual, son elementos con dimensiones de hasta 0.75 metros de lado y hasta 1.50 metros de alto y aseguran que el proceso sea eficaz en la obtención de productos de compostaje.

5.4 Operación del proceso acorde a planteamientos del equipo de trabajo

Tras la estructuración de recursos y análisis de logística llevada a cabo por el CHAT, se designaron 6 puntos para ser los que aporten con material para este proyecto; 3 son de cocinas y los otros 3 son establecimientos internos de venta de alimentos conocidos como Pirámide, Cafetería NSM y Vía Bonita. La recolección desde estos puntos y el procesamiento del material debe ser al momento dado que no se pueden almacenar ya que interrumpe la recuperación de valor de los residuos y genera malos olores. De la misma manera, a la semana se generan de 6 a 10 quintales de restos de actividades de jardinería que van a ser utilizados en este proyecto en vez de ser desechados mediante el sistema municipal de recolección de basura.

Tras la recolección de ambas materias primas, se procede bajo la selección de proceso indicado en este documento en la sección de bases de diseño de proyecto. Después de generar el diseño, la administración del proyecto es realizada por CHAT y área de Mantenimiento de la universidad; no obstante, desde el diseño se espera que se integren dos trabajadores que no excedan en las operaciones más de un total de 4 horas en labores de disposición de material, traslado del mismo, trituración y volteo. Uno de los objetivos del trabajo en conjunto es aprovechar los recursos que se tengan, de esta manera se espera tratar los residuos continuamente sin que se interrumpan los tiempos delimitados de cada fase ni de cada operación.

5.5 Diagramas de construcción e instalación

El espacio en el cual se piensa instalar la planta de tratamiento de residuos por compostaje fue analizado, estudiado y dimensionado en la visita técnica donde se tomaron medidas para saber si hay la posibilidad de que los equipos puedan entrar en los límites designados. La trituradora tiene dimensiones superficiales de 0.40 x 0.64 metros, la compostera tiene un diámetro de 0.75 metros y una altura de 1.20 metros. El terreno que está detrás del edificio Aristóteles tiene dos secciones que pueden ser utilizadas: la primera es una plataforma construida donde pueden caber las composteras y la trituradora con suficiente espacio para que transite el operario. Para la etapa de maduración se puede modificar el suelo del área verde tras el edificio y así generar 7 espacios para surcos, un espacio por cada semana de maduración para generar un producto específico e independiente de condiciones estacionales que puedan surgir en la operación del proyecto como humedad diferente cada semana, diferencia de material en compuestos residuales, entre otros. De esta manera se obtiene el aprovechamiento de espacio que no posee uso aparente y es suficientemente amplio para que el equipo de tratamiento pueda ser instalado, equipo que se ha seleccionado bajo resultados de cálculos, los mismos que se encuentran en la sección de anexos.

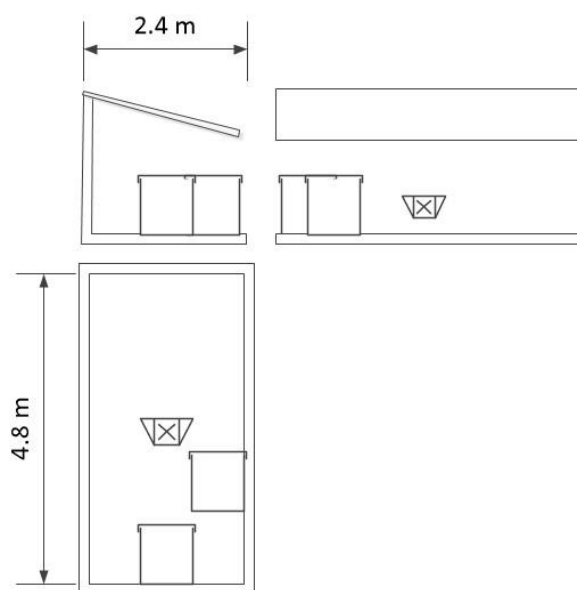


Figura 9. Diagrama de instalación de las composteras y trituradora en la plataforma.

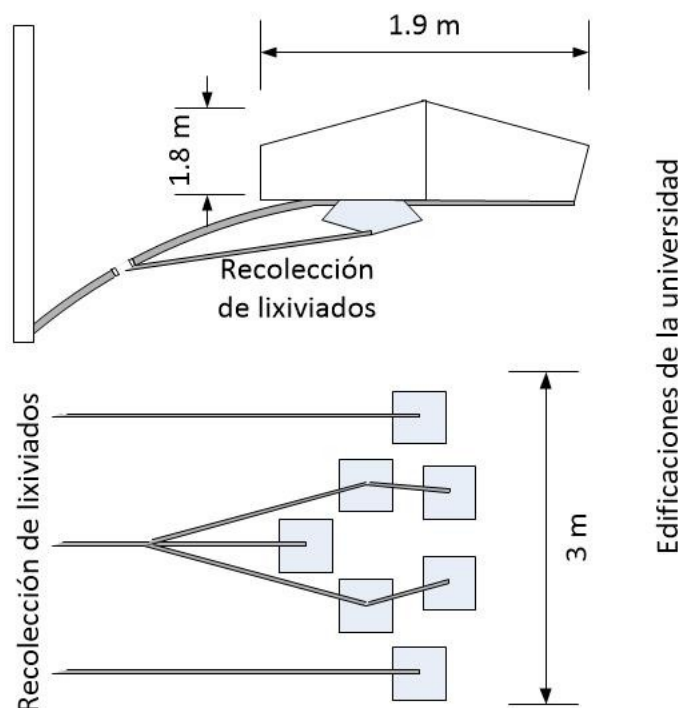


Figura 10. Diagrama de instalación de la etapa de maduración, construcción de cobertura contra lluvias y sistema de recolección de lixiviados.

5.6 Requerimientos

Para poder llevar a cabo la instalación de la planta y permitir el inicio de operaciones, es necesario tener en cuenta los requerimientos de modificación y adecuación del terreno, de otra manera se imposibilita la labor del proyecto. En la plataforma estructurada donde se encontrarán las composteras y la trituradora se necesita una conexión de 110 V para que el último equipo mencionado funcione, este dato fue establecido por el proveedor bajo las especificaciones requeridas expuestas. En un principio se postuló el uso total de la plataforma pero se propuso usar solo la mitad de la misma debido a la convivencia con las personas que están cerca al espacio designado, no representa un problema porque los equipos aún caben en el nuevo espacio y se respeta la comodidad de la comunidad.

Por otro lado se tiene el espacio de maduración, el mismo que tienen que ser adaptado para no generar inconvenientes en el proceso de estabilización de la materia. Para este espacio se pensaron en tres condiciones puntuales: facilidad del operador para que pueda laborar,

recolección de lixiviados y protección contra lluvia. Para los lixiviados se pensó en un sistema subterráneo de conexión de tuberías que puedan aprovechar la acción de la gravedad y transporte el líquido hacia su punto de recolección. Para la protección contra lluvia se pensó en una cubierta que impida la interacción entre el agua y el producto de compostaje, 6 pilares y 1 techo movable que también aporta al trabajo y facilidad del operario. Con las adecuaciones ya realizadas, se espera la instalación de los equipos y el inicio de operaciones de la planta de tratamiento de residuos orgánicos.

6. MODIFICACIONES Y VARIACIONES EN EL PROYECTO

6.1 Decisión final

La posibilidad de implementar la planta de tratamiento de residuos orgánicos dentro las instalaciones del campus principal de la universidad fue descartada en una junta con todas las partes involucradas. Esta decisión fue establecida por el área de Mantenimiento de la institución, la misma que proporciona los permisos internos y adecuaciones necesarias, además de integrar al personal encargado tras la logística establecida en el capítulo anterior. La razón más importante para este hecho fue una limitante planteada: los gases y olores generados con el proyecto. La convivencia entre el proyecto y la comunidad USFQ puede afectar a los estudiantes, profesores y demás público que se encuentre en las proximidades del espacio oportuno de instalación.

No obstante, el área de Mantenimiento ha sugerido instalar el proyecto en una extensión de la universidad en Puembo. La propiedad es arrendada por la Universidad San Francisco de Quito para las prácticas y demás actividades del Departamento de Ingeniería en Agronomía. El nuevo espacio se encuentra a 30 minutos en vehículo del campus principal, esto involucra más logística a solventar debido al traslado de la materia completa. Este hecho plantea nuevos cálculos en base a modificaciones que puedan surgir al añadir más partes al

proyecto, también se espera que el beneficio sea mutuo y se pueda aportar al desarrollo del espacio considerado.

6.2 Nueva oportunidad

Este nuevo suceso permite expandir los recursos que pueden ser utilizados en el proyecto, ya sea desde material que se puede agregar a la compostera o espacios superficiales que se puedan aprovechar. La integración del Departamento de Ingeniería en Agronomía puede beneficiar al proyecto y el mismo puede exaltar al espacio de Puembo, donde ya se realiza compostaje. El proceso de tratamiento de residuos orgánicos del presente proyecto contemplaba el uso de dos tipos de materiales: residuos orgánicos de alimentos no tratados y restos de actividades de jardinería; ahora, se presenta la posibilidad de usar tierra, la misma que se puede obtener en demás actividades de la granja experimental. De igual manera, se pueden fortalecer las actividades que ya se desarrollan en el nuevo espacio y potenciar procesos llevados a cabo mediante el trabajo en conjunto y la planificación estratégica. La nueva alianza permite generar una relación de cooperación para actuar frente a un mejor futuro tanto para la institución como para el ambiente.

6.3 Modificaciones al diseño base y resultados

La cooperación conjunta implica el trabajar con más material tanto de alimentación al proceso como de restos de jardinería. En la sección de anexos se modificó el diseño base en función de una alteración en el material residual de alimentos, el mismo que se planteó desde la mitad del caudal establecido hasta una posible duplicación. Las tablas presentadas en la sección de anexos de modificación al proyecto muestran los balances resultantes de cada caso y la repercusión de espacios de maduración y requerimiento energético. El producto de compostaje cambió al modificar el caudal de alimentación, lo mismo sucedió con el

requerimiento energético; ambos resultados mostraron que mientras más materia se debe tratar, más producto se tiene y la trituradora presentará un requerimiento mayor de energía. Al tener más producto, los espacios de maduración cambiarán de dimensiones donde dos de ellas fueron establecidas para mantener la operatividad de los usuarios del proyecto.

Los resultados presentados tras las modificaciones realizadas muestran que el proyecto puede ser realizado sin la necesidad de requerir más espacio o más equipos como composteras o trituradoras. El máximo producto que se puede obtener es un aproximado de 87 kilogramos al tratar 120 kilogramos de residuos de cocina, esto requerirá de un espacio de compostaje de 0.183 m³ que aún pueden soportar las composteras. De esta manera se plantea que la propuesta de instalación inicial, es decir, una trituradora, dos composteras y un espacio pequeño de terreno, pueden ser suficientes para llevar a cabo el proyecto, los cálculos demuestran el soporte a la iniciativa que aún puede trabajar si se labora dos veces a la semana.

7. CONCLUSIONES

Después de haber realizado el diseño teórico de una planta de tratamiento de residuos orgánicos, los resultados presentan la viabilidad de establecer al proyecto, con sus respectivas consideraciones a tomar en cuenta, en su fin de ser instalado ya sea dentro del campus principal de la USFQ en Cumbayá o en su granja experimental en Puembo. Se espera que, a través del trabajo en conjunto interdepartamental, se puedan satisfacer las necesidades de las partes organizadoras y así generar un espacio que permita recuperar valor de residuos a través del respectivo tratamiento. Los beneficios representan una mejora ambiental, una propuesta de inversión económica y un incentivo social, tres factores que aportarán al desarrollo de la comunidad USFQ.

El proceso inicia con 60 kilogramos de residuos generados en las cocinas de la universidad y de servicios que tienen convenio que se dedican a la generación y

comercialización de alimentos, esto se junta a una cantidad calculada de restos de jardinería para obtener semanalmente 46 kilogramos de producto de compostaje, al momento obtenido mediante balances de masa tomando en cuenta los factores de diseño, tras 8 semanas que dura el proceso. De igual manera, el proceso genera lixiviados que pueden ser aprovechados ya sea en investigaciones a futuro o como fertilizante líquido ya que posee nutrientes después de la degradación de la materia orgánica. Con este proceso se revalorizan recursos, tanto residuos orgánicos de cocina como restos de jardinería, después de su primer uso y se aprovecha la degradación combinada de elementos para obtener un producto funcional.

La degradación de residuos involucra limitantes para que el proyecto pueda ser instalado en las proximidades de espacios de estudio. La generación de olores no deseados, la obstrucción de espacios que pueden ser utilizados o el bloqueo de algunos accesos frecuentados por personal de la universidad son parte de los contratiempos que el proyecto pueda generar. Las condiciones en las que la planta de tratamiento de residuos operará son fundamentales para disminuir las posibilidades de que toda la instalación sea un perjuicio en vez de representar un beneficio, ejemplo de eso es la relación másica y el volteo constante para que se erradiquen las emisiones de gases. Conforme a los resultados y las condiciones de operación se estructuró una propuesta para continuar con el proyecto e implementarlo en el campus de la universidad.

El diseño de la planta de tratamiento de residuos generó suficientes datos para estructurar la necesidad de los equipos y materiales por adquirir. La revisión constante del proyecto por parte de autoridades de las distintas áreas coordinadoras hizo que el proyecto implemente ideas concretas sobre su materialización. De esta manera se llegó a plantear la necesidad de dos composteras plásticas para llevar a cabo el proceso de degradación y una trituradora encargada de homogenizar la materia residual inicial. El costo de inversión del diseño alcanza los USD 1 500, valor que representa un ahorro a futuro en ámbitos de

conseguir material para plantaciones que alcanzan hasta los USD 180 por kilogramos de abono o traslado de residuos que se estiman un valor de USD 8 por cada carga que no pueda trasladar el programa de recolección de basura. El proyecto propone beneficios para la universidad una vez que inicie sus operaciones.

8. RECOMENDACIONES

El proyecto ha sido diseñado a partir de datos recopilados después de haber investigado sobre el tema de compostaje y su implementación en distintos sectores tanto industriales como caseros. Los resultados obtenidos deben aproximarse a la realidad, sin embargo, no se puede afirmar que se produzcan las cantidades exactas como lo indican los cálculos. De esta manera se recomienda iniciar una fase de pilotaje para afirmar la exactitud y precisión del proceso en función de lo que presenta este trabajo. Es así que se puede comprobar cada paso que integra el proceso, los cuales si no llegasen a tener concordancia pueden ser analizados y, si lo amerita, reestructurados. Cualquier cambio que se genere en la parte teórica del proyecto no va a representar inconvenientes en los costos de inversión dado que las máquinas y equipos involucrados pueden soportar diferentes capacidades de producción.

La planta de tratamiento de residuos orgánicos parte de una iniciativa que tiene como uno de sus fines el recuperar y aprovechar material generado en cocinas de la institución y restos de jardinería del mismo lugar, resultados del movimiento de personas por las instalaciones. En los últimos años, la Universidad San Francisco de Quito ha ido expandiéndose a tal punto de que su campus ya abarca parte de una zona comercial. La recomendación a este punto es, a futuro, puedan integrarse más partes a esta iniciativa de dar tratamiento a residuos generados por la comunidad USFQ, lo que incluye al Paseo San

Francisco y los comercios de alimentos que brindan su aporte para cubrir necesidades de alimentación de los estudiantes, administrativos, personal de apoyo, entre otros.

Como última recomendación, se invita a los estudiantes a generar propuestas de cambio que representen beneficios tanto para ellos como para la universidad o su comunidad. Los estudiantes pasan dentro de las instalaciones de la Universidad San Francisco de Quito varias horas, dependiendo de sus hábitos de estudio y procesos de aprendizaje, inclusive llegan a permanecer más de 10 horas debido a trabajos por realizar, proyectos de clase o investigaciones. Lo que se espera es convertir a este espacio en un lugar donde su personal se sienta cómodo y pueda desarrollar sus actividades de manera más eficaz, sin dejar de lado el esfuerzo por tener menos impacto sobre el ambiente y aprovechar cada recurso material que la universidad pueda otorgar.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, G. Bravo, K. (2020). Efectividad del compost mediante métodos de pilas dinámicas y compostera giratoria obtenidas de los residuos orgánicos de la Universidad Peruana Unión. Tesis. Facultad de Ingenierías y Arquitectura. Universidad Peruana Unión. Lima, Perú
- Aziz, S. Omar, I. Mustafa, J. (2018). Design And Study For Composting Process Site. International Journal of Engineering Inventions. Vol. 7, 9-18. e-ISSN: 2278-7461, p-ISSN: 2319-6491
- Bernal, J. (2018). Eco huerta universitaria: una estrategia de gestión y aprovechamiento de residuos orgánicos. Trabajo de grado. Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas. Universidad Agustiniana. Bogotá Colombia.
- de Bertoldi, M. Insam, H. (2007). Microbiology of the Composting Process. Cap. 3. Compost Science and Technology.
- Calahorrano, W. Quispe, B. (2017). Diseño e implementación de un sistema integral de gestión para manejo de los residuos sólidos generados en el área de hospedaje de la estación biológica Kutukú y en el área de preparación de alimentos del internado y cocina de Sevilla Don Bosco. Trabajo de titulación. Ingeniería Ambiental. Universidad Politécnica Salesiana. Quito. Ecuador. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/13736>
- Chen, Y. Hadar, Y. Inbar, Y. (1993). Recycling of Cattle Manure: The Composting Process and Characterization of Maturity. Journal of Environmental Quality. Vol. 22 857-863.
- Cury, K. et al. (2017). Residuos agroindustriales su impacto, manejo y aprovechamiento. Revista Colombiana de Ciencia Animal. Vol. 9 122-132. Colombia. ISSN 2027-4297

- Doran, P. (1995). *Bioprocess Engineering Principles*. Academic Press Inc. San Diego, California. ISBN 0-12-220855-2
- Farrell-Poe, K. Pace, M. (1995). *The Composting Process*. Utah State University Extension. AG-WM 01.
- Fernández, A. (2015). Seis consejos para hacer un buen compost. Consumer. Fundación Eroski. Extraído de <https://www.consumer.es/medio-ambiente/seis-consejos-para-hacer-un-buen-compost.html>
- Finstein, M. MacGregor, S. Miller, F. Psarianos, K. (1981). Composting Process Control Based on Interaction Between Microbial Heat Output and Temperature. *Applied and Environmental Microbiology*. Vol. 41 1321-1330. 0099-2240/81/061321-10\$02.00/0
- Finstein, M. Miller, F. Strom, P. (1986). Monitoring and Evaluating Composting Process Performance. *Water Pollution Control Federation* Vol. 58 272-278.
<http://www.jstor.org/stable/25042902>
- Geankoplis, C. (1998). *Procesos de transporte y operaciones unitarias*. Tercera edición. Compañía editorial Continental. México
- Guo, X. Liu, H. Wu, S. (2019). Humic substances developed during organic waste composting: Formation mechanisms, structural properties and agronomic functions. *Science of the Total Environment*. Vol. 662, 501-510.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.137>
- Gutiérrez, R. Infante, S. (2018). *Cómo reducir el impacto ambiental en las cocinas industriales de la Fundación Universitaria San Mateo*. Trabajo de grado. Facultad de Ciencias Administrativas y Afines. Fundación Universitaria San Mateo. Colombia.
<http://localhost:80/jspui/handle/123456789/78>

- Hurley, S. Shrestha, P. Cording, A. (2017). Nutrient Leaching from Compost. *Journal of Sustainable Water in the Built Environment*. DOI: 10.1061/JSWBAY.0000821 ISSN 2379-6111
- Jara-Samaniego, J. et al. (2016). Composting as sustainable strategy for municipal solid waste management in the Chimborazo Region, Ecuador: suitability of the obtained compost for seedling production. *Journal of Cleaner Production*.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.178>
- Kumar Awashi, S. et al. (2019). Changes in global trends in food waste composting: Research challenges and opportunities. *Bioresource Technology*.
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122555>
- Margaritis, M. et al. (2017). Improvement of home composting process of food waste using different minerals. *Waste Management*. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.12.009>
- Martínez-Sánchez, V. et al. (2014). Life cycle costing of waste management systems: overview, calculation principles and case studies. *Waste Management*.
<http://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.10.033>
- Mason, I. (2005). Mathematical modeling of the composting Process. *Waste Management*. Vol. 26 3-21. 10.1016/j.wasman.2005.01.021
- Partanen, P. et al. (2010). Bacterial diversity at different stages of the composting Process. *BioMed Central BMC Microbiology*. <http://www.biomedicalcentral.com/1471-2180/10/94>
- Pillaga, L. Pomaquiza, D. (2015). Obtención de densidades aparentes de los componentes de mayor generación dentro de los residuos sólidos municipales en la ciudad de Cuenca. Tesis de grado. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad de Cuenca. Cuenca, Ecuador.

- Qin, R. et al. (2021). Effect of excess sludge and food waste feeding ratio on the nutrient fractions, bacterial and fungal community During aerobic co-composting. *Bioresource Technology*. Vol. 320. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124339> ISSN 0960-8524
- Sole-Mauri, F. (2007). An integrated biochemical and physical model for the composting Process. *Bioresource Technology*. Vol. 98 3278-3293.
Doi:10.1016/j.biortech.2006.07.012
- Stentiford, E. (1996). *Composting Control: Principles and Practice*. The Science of Composting. Springer Science
- USFQ. (2021). Contáctanos: Mapa de la universidad. Extraído de <https://www.usfq.edu.ec/es/mapa-de-la-universidad>
- Yang, F. et al. (2018). Performance of mature compost to control gaseous emissions in kitchen waste composting. *Science of the Total Environment*. Vol. 657 262-269.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.030>

10. ANEXOS

10.1 Anexos de bases de diseño

Tabla 1. Normas y legislaciones para generar un proceso de compostaje

Legislación	Criterio	Estatuto
Constitución de la República del Ecuador	Ambiente	Cap. II Sección. II Art. 14 Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, sumak kawsay.
Ley de Gestión Ambiental	Ambiente	Art. 2 La Gestión Ambiental se sujeta a los principios de solidaridad, corresponsabilidad, cooperación, coordinación, reciclaje y reutilización de desechos, utilización de alternativas ambientalmente sustentables y respecto a las culturas y prácticas tradicionales.
Programa Nacional para la Gestión Integral de Desechos Sólidos	Ambiente	Impulsar la gestión de los residuos sólidos en los municipios del Ecuador, con un enfoque integral y sostenible; a través de estrategias, planes y actividades de capacitación, sensibilización y estímulo a los diferentes actores relacionados.
Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización	Social Demográfico	Competencia exclusiva de los servicios públicos de manejo de desechos sólidos. Mecanismos asociativos en el territorio. Planificación del desarrollo y ordenamiento del territorio. Coordinación para la competencia de gestión ambiental.
Código Orgánico Integral Penal	Ambiente Salud	Sanciona si se genera gestión prohibida o no autorizada de productos, residuos, desechos o sustancias peligrosas.
Ley Orgánica de Salud	Salud	Facultad regulatoria de todo tipo de desechos y residuos que afecten la salud humana; desechos hospitalarios.
Norma de Calidad Ambiental para el Manejo y Disposición Final de Desechos Sólidos No Peligrosos	Ambiente	Establece los criterios para el manejo de los residuos sólidos no peligrosos desde su generación hasta su disposición final.
NTE INEN 2841	Ambiente	Estandarización de colores para recipientes de depósito y almacenamiento de residuos sólidos.

10.2 Anexos de diseño de proceso

Tabla 2. Factores de diseño

Operación	Detalle	Referencia
Separación	Ingresan materiales no procesados, no ingresan productos cárnicos, huesos, aceites ni salsas.	Fernández, A. 2015
Secado	Se presentan tablas de remoción de humedad en compostaje de acuerdo al tiempo transcurrido	Chen, Y. Hadar, Y. Inbar, Y. 1993
Compostaje	Se presentan tablas de remoción de humedad en compostaje de acuerdo al tiempo transcurrido	Chen, Y. Hadar, Y. Inbar, Y. 1993
	Relación másica 17:3 entre residuos orgánicos y restos de poda	Yang, F. et al. 2018
	Los lixiviados encontrados son compuestos altos en nitrógeno como iones nitrito y nitrato, también se halla etanol y ácido láctico	Hurley, S. Shrestha, P. Cording, A. 2017 de Bertoldi, M. Insam, H. 2007
	Se ha comprobado que hay actividades a micro escala; en más frecuencia se hallan bacteria, archaea y fungi	de Bertoldi, M. Insam, H. 2007

Tabla 3. Balance de masa, en kilogramos, del proceso general

Elemento\ Línea de proceso	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Residuos Orgánicos	60	X	59,4	59,4	X	56,43	X	X	X	X	X
Desechos	X	0,6	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Humedad	X	X	X	X	2,97	X	X	X	X	X	X
Desechos de jardín	X	X	X	X	X	X	9,959895	X	X	X	X
Producto de	X	X	X	X	X	X	X	X	46,30695	X	43,99160

compostaje									18		42
Lixiviados	X	X	X	X	X	X	X	4,647292 65	X	2,315347 59	X

Tabla 4. Dimensionamiento de compostera

Dimensionamiento de compostera		
Densidad RO (kg/m ³)	1	1000
Densidad DJ (kg/m ³)	0,5	500
Volumen RO (m ³)		0,05643
Volumen DJ (m ³)		0,01991979
Volumen requerido (m ³)		0,07634979
Volumen con sobrd (m³)		0,09161975

Tabla 5. Requerimiento energético de trituradora

Requerimiento energético de la trituradora			
Kb (Factor)	0,2		
Xf (Tamaño de partícula)	0,004	m	0,06324555
E (Índice de energía)	3,16227766	kW h ton-1	
Masa residual por triturar	66,389895	kg	0,0663899
Energía requerida	0,20994328	kW h	

Para calcular el requerimiento de energía de una trituradora para tratar la materia proveniente de las cocinas de servicios de la universidad y de actividades de jardinería fue necesaria la implementación de la siguiente ecuación:


$$E = K_B \frac{1}{\sqrt{X_2}}$$

esta ecuación contempla una constante K de Bond para trituración y el tamaño final de la partícula requerida, el resultado es trabajo en unidades de kW h ton⁻¹ (Geankoplis, C. 1998).

Tabla 6. Dimensionamiento de espacios de maduración

Dimensionamiento de los espacios de maduración		
Volumen de producto	0,07634979	m ³
Altura	0,4	m
Área	0,19087448	m ²
Largo	0,6	m
Ancho	0,31812413	m

10.3 Anexos de cotizaciones



COTIZACION:		1290			
CLIENTE: UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO REFERENCIA: COMPOSTERA DIRECCION: Diego de Robles s/n y Pampite TELEFONO: 022971700 RUC/CI: 1791836154001 CORREG:		ASesor: DR. IVAN PEREZ TELEFONO: 0999666542 CORREG: iperezmvz@yahoo.com FECHA DE EMISION: 2/3/2021 VALIDO HASTA: 10/3/2021			
REQUERIMIENTO DE AGUA TRATADA: 100.000 LITROS POR DIA					
CODIGO	CANTIDAD	PRESENTACION	CONCEPTO	PRECIO UNITARIO	TOTAL
EG101	2	UNIDAD	BIODIGESTOR EARTHMAKER 3 ETAPAS	500,00	1.000,00
DESCUENTO					-
SUBTOTAL					1.000,00
IVA 12%					-
TOTAL					1.000,00

OBSERVACIONES

- Precio NO INCLUYE INSTALACION Y PUESTA EN MARCHA
- Tiempo de entrega: INMEDIATO
- Forma de pago:

100% EL DIA DE LA ENTREGA Y RECIBI CONFORME

4.- Validez de la oferta: 8 dias.

Figura 11. Cotización de composteras para generar una estimación económica general del proyecto.



Santo Domingo, 04 de marzo de 2021

Señores:
UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO
Ruc: 1791836154-001
TEL: 02-2971700
Dirección: Diego de Robles s/n y Pampite
Ciudad

Proforma: 04032021

REF: COTIZACIÓN TRITURADORA DE DESECHOS

Con la presente adjuntamos cotización del siguiente equipo
Triturador de desechos, el cual se describe a continuación:



CARACTERISTICAS
Tritura ramas de hasta una pulgada de diámetro. Equipado con cuchillas fijadas directo al eje del motor, tolva removible con traba de seguridad. Tratamiento anticorrosivo y pintura de polvo de poliéster polimerizado en estufa a 230°, ofreciendo mayor durabilidad y mejor acabado.

Ficha Técnica

Modelo	Potencia (cv)	Tensión	Tipo
CV5	1,25 - 50 Hz	110-127	Monofásico
	1,5 - 60 Hz	220-254	

APLICACIÓN
Triturador de residuos orgánicos eléctrico recomendado para triturar cercas del jardín como ramas de árboles, cerca vivas, follajes en general, tallos de frijol, restos de vegetales y frutas, que tiene como objetivo el resultado de esta trituración ofrecer material para el abono orgánico a través del proceso de compostaje. Ideal para residencias cerradas, casa de campo, huertas, agricultura orgánica. Recomendamos que sean triturados varias veces para mejorar la descomposición.

Valor: **USD\$ 470.00**
Forma de pago: 100% anticipada
Banco Pichincha
Titular Diego Cevallos
Cedula No 0602133522
Cuenta Ahorros No. 2205762381

Cordialmente,
Dpto. Ventas Cevacos

CEVACOS SC
Avenida Chone y Puerto Ila esq.
Cevacollina 099 794 14 21 Telfs. (02) 3700875
Email: cevacos@gmail.com
www.cevacos.com

Figura 12. Cotización de trituradora para generar una estimación económica general del proyecto.

10.4 Anexos de modificaciones al proyecto

Tabla 7. Balance de masa, en kilogramos, del proceso general con el caudal al 50 %.

Elemento \ Línea de proceso	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Residuos Orgánicos	30	X	29,7	29,7	X	28,215	X	X	X	X	X
Desechos	X	0,3	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Humedad	X	X	X	X	1,485	X	X	X	X	X	X
Desechos de jardín	X	X	X	X	X	X	4,97994 75	X	X	X	X
Producto de compostaje	X	X	X	X	X	X	X	X	23,15347 59	X	21,99580 21
Lixiviados	X	X	X	X	X	X	X	2,323646 33	X	1,157673 79	X

Tabla 8. Balance de masa, en kilogramos, del proceso general con el caudal al 125 %.

Elemento \ Línea de proceso	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Residuos Orgánicos	75	X	74,25	74,25	X	70,5375	X	X	X	X	X
Desechos	X	0,75	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Humedad	X	X	X	X	3,7125	X	X	X	X	X	X
Desechos de jardín	X	X	X	X	X	X	12,44986 88	X	X	X	X
Producto de compostaje	X	X	X	X	X	X	X	X	57,88368 97	X	54,98950 52
Lixiviados	X	X	X	X	X	X	X	5,809115 81	X	2,894184 49	X

Tabla 9. Balance de masa, en kilogramos, del proceso general con el caudal al 150 %.

Elemento \ Línea de proceso	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Residuos Orgánicos	90	X	89,1	89,1	X	84,645	X	X	X	X	X
Desechos	X	0,9	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Humedad	X	X	X	X	4,455	X	X	X	X	X	X
Desechos de jardín	X	X	X	X	X	X	14,93984 25	X	X	X	X
Producto de compostaje	X	X	X	X	X	X	X	X	69,46042 76	X	65,98740 63
Lixiviados	X	X	X	X	X	X	X	6,970938 98	X	3,473021 38	X

Tabla 10. Balance de masa, en kilogramos, del proceso general con el caudal al 175 %.

Elemento \ Línea de proceso	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Residuos Orgánicos	105	X	103,95	103,95	X	98,7525	X	X	X	X	X
Desechos	X	1,05	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Humedad	X	X	X	X	5,1975	X	X	X	X	X	X
Desechos de jardín	X	X	X	X	X	X	17,42981 63	X	X	X	X
Producto de compostaje	X	X	X	X	X	X	X	X	81,03716 56	X	76,98530 73
Lixiviados	X	X	X	X	X	X	X	8,132762 14	X	4,051858 28	X

Tabla 11. Balance de masa, en kilogramos, del proceso general con el caudal al 200 %.

Elemento \ Línea de proceso	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Residuos Orgánicos	120	X	118,8	118,8	X	112,86	X	X	X	X	X
Desechos	X	1,2	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Humedad	X	X	X	X	5,94	X	X	X	X	X	X
Desechos de jardín	X	X	X	X	X	X	19,9197 9	X	X	X	X
Producto de compostaje	X	X	X	X	X	X	X	X	92,61390 35	X	87,98320 83
Lixiviados	X	X	X	X	X	X	X	9,29458 53	X	4,630695 18	X

Tabla 12. Resultados comparativos que se obtienen al modificar el caudal.

Base (kg)	60					
Caudales (%)	50%	100%	125%	150%	175%	200%
Caudales (kg)	30	60	75	90	105	120
Residuos orgánicos a compostera (kg)	28,215	56,430	70,538	84,645	98,753	112,860
Desechos de jardín necesarios(kg)	4,980	9,960	12,450	14,940	17,430	19,920
Volumen requerido (m3)	0,038	0,076	0,095	0,115	0,134	0,153
Volumen con sobredimensión (m3)	0,046	0,092	0,115	0,137	0,160	0,183
Producto de compostaje (kg)	21,996	43,992	54,990	65,987	76,985	87,983
Numero de ciclos (ref. 0,4)	8,732	4,366	3,493	2,911	2,495	2,183

Tabla 13. Requerimiento energético en función de la modificación del caudal.

E (kW h ton-1)	3,162					
Suma de material por tirturar (kg)	33,195	66,390	82,987	99,585	116,182	132,780
Suma de material por tirturar (ton)	0,033	0,066	0,083	0,100	0,116	0,133
Energía requerida (kW h)	0,105	0,210	0,262	0,315	0,367	0,420

Tabla 14. Variación en los espacios de maduración en función de cada caudal.

Volumen requerido (m3)	0,038	0,076	0,095	0,115	0,134	0,153
Altura (m)	0,4					
Área (m2)	0,095	0,191	0,239	0,286	0,334	0,382
Lado 1 (m)	0,4			0,6		
Lado 2 (m)	0,239	0,477	0,596	0,477	0,557	0,636