

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE QUÍMICA
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Proyecto Final de Graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería
Ambiental

“Modelo de gestión para el compost doméstico en el cantón de Belén de Heredia”

Elena Campos Matarrita

HEREDIA, septiembre, 2022

TEC | Tecnológico de Costa Rica
Ingeniería Ambiental



Esta obra está bajo una [licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)
[Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

“Modelo de gestión para el compost doméstico en el cantón de Belén de Heredia”

Informe presentado a la Escuela de Química del Instituto Tecnológico de Costa Rica como requisito parcial para optar por el título de Ingeniero Ambiental con el grado de licenciatura

Miembros del tribunal

Dr. Fabio David Araya Carvajal
Director

Mag. Esteban Salazar Acuña
Lector 1

Lic. Mélanie Andrea Pérez Vargas
Lectora 2

Dra.ir. Mary Luz Barrios Hernández
Coordinadora COTRAFIG

M.Sc Ricardo Coy Herrera
Director Escuela de Química

M.Sc Diana Zambrano Piamba
Coordinadora Carrera de Ingeniería Ambiental

DEDICATORIA

Le dedico esta tesis a mi mamá, a mi mejor amiga, la que siempre ha estado a mi lado y quien me ha visto crecer en todos los sentidos de la vida. Este es también su esfuerzo y dedicación plasmado en un trabajo académico.

AGRADECIMIENTOS

A mi mamá, porque gracias a su apoyo pude concluir esta etapa de mi vida y porque con ella caminé obstáculos y siempre me dio la serenidad y amor para enfrentarlos. Gracias por enseñarme a entender que todo llega y todo pasa. Gracias por escucharme llorar y alentarme cuando no podía, también gracias por celebrar conmigo los cursos aprobados, por cocinarme y aguantar mis enojos. Gracias por enseñarme a ser mejor mujer, la amo con todo mi corazón.

A mi papá y hermano, porque los amo y mis logros también los comparto con ellos. Aunque sea a la distancia.

A mis amigas y amigos. A Fabricio, por ser mi compañero de universidad y cuidarnos las espaldas en trabajos, exámenes, salidas y en la vida. También gracias por recordarme que “todo va estar bien” y por ser mi gurú de tesis. Su guía, consejo y practicidad fueron claves para finalizar este documento.

A Perla, que su compañía, escucha y palabras me reconfortaron demasiado en este momento de la vida, ya que solo él sabe cómo se sentía mi corazón en esos días. Gracias infinitas, lo amo.

A Angie, que ella ha sido mi amiga desde el colegio, aunque fuimos a universidades diferentes ella siempre estuvo al tanto de mi realidad. Gracias por hacerme parte de su vida y por seguir acá conmigo. Sobre todo, gracias por empoderarme a terminar este documento y por estar ahí respondiendo mis mensajes de crisis. La quiero mucho.

Muchas gracias a Mélanie por haber sido lectora de mi tesis y compartir su conocimiento de ingeniera agrónoma, fue muy especial e importante su participación en el proceso.

Agradecimientos especiales también a la Municipalidad de Belén, a Esteban Salazar quien siempre mantuvo su apoyo, aun cuando hubo inconvenientes en el proceso. Gracias por la confianza y por permitirme desarrollar mi tesis a través de una iniciativa tan significativa como la del compostaje doméstico del cantón.

TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN.....	1
2	OBJETIVOS.....	2
2.1	<i>Objetivo general</i>	2
2.2	<i>Objetivos específicos</i>	2
3	REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
3.1	<i>La problemática de los residuos sólidos</i>	3
3.1.1	Disposición final de residuos sólidos	4
3.1.2	Composición de residuos sólidos	5
3.2	<i>GESTIÓN INTEGRAL DE RESIUDOS SÓLIDOS</i>	6
3.3	<i>COMPOSTAJE</i>	7
3.3.1	Compostaje centralizado y descentralizado.....	10
3.3.2	Compostaje doméstico.....	11
3.3.3	Comportamiento de los usuarios	18
3.4	<i>SITUACIÓN EN COSTA RICA</i>	20
3.4.1	Situación en el cantón de Belén.....	22
4	MATERIALES Y MÉTODOS.....	27
4.1	<i>Lugar de estudio</i>	27
4.2	<i>ESTUDIO CUALITATIVO y CUANTITATIVO DEL PROCESO DE COMPOSTAJE DOMÉSTICO</i>	28
4.2.1	Planificación del estudio.....	28
4.2.2	Trabajo de campo	33
5	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	36
5.1	<i>ANÁLISIS CUALITATIVO DEL PROCESO DE COMPOSTAJE DOMÉSTICO</i> 36	
5.1.1	Caracterización de la población.....	36
5.1.2	Información sobre prácticas en el proceso de compostaje	37
5.1.3	Información sobre problemas en el proceso de compostaje	43
5.1.4	Roles y significados en el proceso de compostaje.....	45
5.1.5	Usos del compost por las personas entrevistadas del cantón de Belén	47

5.2	<i>PERSPECTIVA INSTITUCIONAL DEL PROGRAMA DE COMPOSTAJE DOMÉSTICO</i>	48
5.2.1	Ahorros económicos y gases de efecto invernadero (GEI) evitados	49
5.3	<i>ANÁLISIS CUANTITATIVO DEL COMPOST DOMÉSTICO BELEMITA</i>	50
5.3.1	Análisis químico del compost doméstico	50
5.3.2	Análisis biológico cualitativo de compost doméstico	61
5.4	<i>PROPUESTAS DE USOS ALTERNATIVOS DEL COMPOST DOMÉSTICO</i>	63
5.4.1	Estrategia para la implementación de usos alternativos	64
5.4.2	Uso en áreas de protección del cantón.....	66
5.4.3	Uso en parques y jardines públicos	66
5.4.4	Uso en huertas orgánicas cantonales	68
5.4.5	Aspectos adicionales para la implementación de usos alternativos del compost	
	70	
	Definir canales y medios	73
6	CONCLUSIONES.....	75
7	RECOMENDACIONES	77
8	REFERENCIAS	78
9	APÉNDICES	86
9.2	<i>APÉNDICE 1: INSTRUMENTOS PARA RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN</i>	
	86	
9.2.1	Apéndice 1.1 Instrumento de recolección de información sobre prácticas, roles y significados en el proceso de compostaje doméstico	86
9.2.2	Apéndice 1.2 Entrevista a la Municipalidad de Belén / Área de Servicios Públicos	88

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Esquema del proceso de compostaje. Tomado de Arrigoni. (2011).....	8
Figura 2.	Cambios de temperatura durante el proceso de compostaje. Tomado de Ayilara et al. (2020).....	9
Figura 3.	Proceso de selección y aplicación del programa. Tomado de Municipalidad de Belén (2020).	22
Figura 4.	Compostera marca 360 Soluciones Verdes, modelo KS-100.....	24
Figura 5.	Compostera modelo Huerta 300.....	24
Figura 6.	Área de estudio, cantón de Belén	27
Figura 7.	Tipos de abonos orgánicos. Tomado de Soto y Meléndez (2004).....	30
Figura 8.	Ubicación geográfica de composteras muestreadas	34
Figura 9.	Ejemplo de etiquetado utilizado para identificar la muestra	34
Figura 10.	Muestras de compost recolectadas y codificadas	35
Figura 11.	Edades de la población entrevistada involucrada en el proceso de compostaje en Belén de Heredia.....	36
Figura 12.	Tipos de los residuos añadidos a las composteras.....	38
Figura 13.	Recipiente para escurrir cáscaras de frutas y verduras como parte del proceso de secado del material para la compostera	39
Figura 14.	Tiempo de producción de compost en viviendas que participaron del estudio en el cantón de Belén.....	40
Figura 15.	Problemas experimentados por las personas entrevistadas usuarias de composteras en el cantón de Belén.....	44
Figura 16.	Larva de mosca soldado	44
Figura 17.	Participación de las personas entrevistadas en el proceso de compostaje en el cantón de Belén	45
Figura 18.	Medición de los precipitados de las muestras	61

Figura 19. Huerta Orgánica Comunitaria de Belén, Heredia..... 69

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1.	Uso del compost en la agricultura	16
Cuadro 2.	Uso del compost para la horticultura, silvicultura y arquitectura del paisaje... 16	
Cuadro 3.	Uso del compost en hortalizas	17
Cuadro 4.	Contenidos de niveles óptimos para abonos orgánicos	30
Cuadro 5.	Valores óptimos para abonos orgánicos reportados en literatura	50
Cuadro 6.	Resultados de laboratorio para parámetros químicos	51
Cuadro 7.	Resultados de laboratorio para parámetros químicos (continuación).....	52
Cuadro 8.	Ejemplo de matriz de seguimiento para la comunicación del proyecto	74

LISTA DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS

AP	Áreas de protección
AO	Abono orgánico
C	Carbono
CE	Conductividad eléctrica
CH ₄	Metano
CIA	Centro de Investigaciones Agronómicas
C/N	Relación carbono /nitrógeno
CO ₂	Dióxido de carbono
COD	Carbono Orgánico Degradable
Cu	Cobre
GEI	Gases de Efecto Invernadero
GIR	Gestión Integral de Residuos
%H	Porcentaje de humedad
K	Potasio
N	Nitrógeno
N ₂ O	Óxido nitroso
NH ₃	Amoníaco
P	Fósforo
UE	Unión Europea
Zn	Zinc

RESUMEN

En Costa Rica el tema del compostaje se encuentra en crecimiento y es parte de la agenda nacional en temas de gestión integral de residuos gracias al I Plan Nacional de Compostaje, 2020. Sin embargo, a pesar de que existen varias campañas de compostaje doméstico activas, hay poca información sobre la recepción del proceso por parte de las comunidades y los gobiernos locales. Por este motivo, la presente investigación se enfoca en la evaluación del plan piloto de compostaje del cantón de Belén de Heredia a través de una perspectiva sociocultural, institucional y técnica. Asimismo, la investigación busca ser un elemento orientador a lo que pueda estar sucediendo en otros proyectos municipalidades de compostaje doméstico en el país. A partir de lo anterior, el objetivo general del proyecto es desarrollar un modelo de gestión para el compost doméstico en el cantón de Belén de Heredia. Para ello como objetivos específicos se determinará la situación actual del cantón en cuanto a compostaje doméstico y se plantearán a la municipalidad propuestas de usos alternativos para el compost generado. El resultado esperado es obtener un modelo de gestión de compost doméstico que contemple oportunidades de usos alternativos al compost, de forma que se cierre el ciclo del proceso y se impacte positivamente al cantón. Es así como se realizaron entrevistas a las personas usuarias de composteras y a la persona encargada del proyecto a nivel municipal, además se llevaron a cabo pruebas de laboratorio para medir la calidad del compost generado en el cantón de Belén. A partir de los resultados obtenidos, se plantearon propuestas alternativas del uso de compost basado en lo informado por la comunidad y de acuerdo con la calidad reportada por las pruebas químicas.

Palabras clave: compostaje doméstico, residuos orgánicos, educación ambiental, gestión de residuos, Belén.

ABSTRACT

In Costa Rica, composting is growing and is part of the national agenda for integrated waste management thanks to the I National Composting Plan, 2020. However, although there are several active home composting campaigns, there is little information on the reception of the process by communities and local governments. For this reason, the present research focuses on the evaluation of the pilot composting plan in the canton of Belén de Heredia through a sociocultural, institutional, and technical perspective. Likewise, the research seeks to be a guiding element for what may be happening in other municipal home composting projects in the country. Based on the above, the general objective of the project is to develop a management model for home composting in the canton of Belén de Heredia. The specific objectives are to determine the current situation of the canton in terms of home composting and to propose to the municipality alternative uses for the compost generated. The expected result is to obtain a model of home compost management that contemplates opportunities for alternative uses of the compost, in order to close the process cycle and have a positive impact on the canton. Interviews were conducted with compost users and the person in charge of the project at the municipal level, and laboratory tests were carried out to measure the quality of the compost generated in the canton of Belen. Based on the results obtained, alternative proposals for the use of compost were proposed based on what was reported by the community and according to the quality reported by the chemical tests.

Key words: domestic composting, organic waste, environmental education, waste management, Belén

1 INTRODUCCIÓN

Según el Plan Nacional para la Gestión Integral de Residuos (2019-2025), el manejo inadecuado de los residuos sólidos constituye uno de los principales problemas que enfrenta la sociedad costarricense, debido a la insuficiente gestión integral de residuos. El mal manejo de estos se le atribuye consecuencias a nivel ambiental como la contaminación del suelo, de aguas subterráneas, superficiales y el impacto asociado al calentamiento global a causa de la liberación de gases a la atmósfera como metano y dióxido carbono. Además, se encuentran costos de salud relacionados a la proliferación de vectores transmisores de enfermedades, así como el impacto económico, originado por eventos hidrometeorológicos.

Es por esto, que en Costa Rica mediante la Ley 8839 se promueve la valorización de los residuos sólidos. Esto consiste en la recuperación del valor de los residuos para los procesos productivos, la protección de la salud y el ambiente. Dentro de la valorización se encuentran acciones como el reciclaje de materiales y el compostaje de residuos orgánicos.

Partiendo de esta última premisa, en Costa Rica, de la totalidad de residuos que se generan aproximadamente un 55% corresponde a residuos orgánicos, 15,5% a papel y cartón y 11,5% a plásticos (Ministerio de Salud, 2016). Por lo tanto, como se exponen en el I Plan Nacional de Compostaje (2020 – 2050) mediante el compostaje, como proceso natural de descomposición de estos materiales, se puede reincorporar estos materiales como abono orgánico a la tierra para facilitar la regeneración natural de los suelos y dándole un valor agregado a los residuos orgánicos.

Programas como el implementado por la municipalidad de Belén, en el que se apuesta por un modelo descentralizado acompañado de una tarifa diferenciada en el pago de los impuestos de recolección de residuos, busca tener un avance en cuanto al impacto que puede llegar a tener en las personas habitantes del cantón. Por esta razón se formula el presente proyecto, con el objetivo de analizar la calidad, usos alternativos del compost generado en Belén, de manera que se propicie el incremento de hogares composteros en el cantón.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un modelo de gestión para el compost doméstico en el cantón de Belén de Heredia.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Determinar la situación actual del compostaje de residuos domiciliarios en el cantón de Belén.

Proponer usos alternativos del compost doméstico a la municipalidad de Belén obtenidos del proceso de compostaje.

3 REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 LA PROBLEMÁTICA DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS

En la actualidad el ser humano genera cantidades importantes de residuos. Los impactos asociados a esta situación son una seria amenaza a la salud pública y al medio ambiente. De manera local, la falta de recolección de residuos sólidos contribuye a la contaminación del aire, a las inundaciones, al desarrollo de enfermedades respiratorias, enfermedades gastrointestinales como diarrea y la proliferación de vectores como el dengue. Además, parte de los efectos adversos de los residuos sólidos, es que son una fuente importante de metano al descomponerse en condiciones anaeróbicas, un potente gas de efecto invernadero que es particularmente impactante a corto plazo (Hoornweg y Bhada-Tata, 2012).

Aunado a lo anterior, se debe considerar el tema de generación; ya que el manejo de los residuos sólidos ha representado un problema debido, entre otras cosas, a los altos volúmenes de residuos sólidos generados por los ciudadanos; cuando el manejo de estos no es el adecuado, puede afectar la salud de los ciudadanos y al medio ambiente (Sáez et al., 2014) como se indicó anteriormente. Según Hoornweg y Bhada-Tata, (2012) los niveles de generación mundial de residuos sólidos alcanzaron aproximadamente 1,300 millones de toneladas métricas en 2012, y se espera que aumentarán hasta aproximadamente 2,200 millones de toneladas métricas en 2025. Sin embargo, es importante señalar que existen variaciones en la generación de residuos sólidos a nivel regional y nacional. Estas diferencias dependen de factores como patrones de consumo, riqueza económica, así como las estrategias de recolección y gestión de estos por parte de las municipalidades (Margallo, 2014).

Como resultado, la disposición final que tienen dichas cantidades de residuos es un dilema que persiste en la región de Latinoamérica. En países en vías de desarrollo los rellenos sanitarios siguen siendo la columna vertebral de la gestión de los residuos sólidos. Esto se debe a que el relleno sanitario es una tecnología barata y conocida, con un menor impacto ambiental, económico y social en comparación con los vertederos incontrolados (Margallo et al., 2019). Al mismo tiempo, América Latina tiene tasas relativamente bajas de desviación

de residuos (reciclaje y compostaje), y tiene prácticas generalmente pobres, aunque muy variables, para la eliminación final (Hoorweg y Giannelli, 2007).

3.1.1 Disposición final de residuos sólidos

Los rellenos sanitarios son el principal método para la disposición final de los residuos sólidos en países en vías de desarrollo. No obstante, es un método que presenta desventajas, una de las más conocidas es su impacto en el cambio climático. Según Lou y Nair (2009) el impacto de los vertederos en el cambio climático radica en sus emisiones de dióxido de carbono (CO_2) y metano (CH_4), junto con otros componentes gaseosos. Estos gases son el subproducto de la descomposición anaeróbica de los residuos orgánicos, característica de los vertederos convencionales.

Por otra parte, los estudios de los rellenos sanitarios han demostrado que las condiciones a menudo no son favorables para la biodegradación de estos residuos orgánicos. Dichas condiciones incluyen baja humedad, baja concentración de oxígeno y alta heterogeneidad de los materiales, muchos de los cuales no son degradables o se degradan muy lentamente (Artiola, 2019).

Otro aspecto por considerar es que los diferentes tipos de residuos orgánicos tienen sus propias constantes de carbono orgánico degradable (COD) y tasas de degradación que afectan a la cantidad total de gases de efecto invernadero emitidos, y a la tasa a la que se generan los mismos (Lou y Nair, 2009). El carbono orgánico biodegradable es igual a la sumatoria de la fracción de carbono orgánico degradable de cada tipo de residuo por la fracción de tipo de desecho del total de los residuos sólidos ordinarios (Medina et al., 2016).

Por consiguiente, disminuir la fracción orgánica de la corriente de residuos totales que llegan a rellenos sanitarios resulta de gran importancia. De igual modo, es primordial conocer cuál es la composición de las corrientes de residuos que se destinan a estos sitios, para así tener un panorama detallado de cómo mejorar las tecnologías existentes y perfeccionar el sistema de manejo de residuos sólidos.

3.1.2 Composición de residuos sólidos

La composición de residuos sólidos varía según distintos factores, como el nivel de industrialización, el clima y la naturaleza del desarrollo socioeconómico de la zona (Noufal et al., 2020). Otros aspectos locales como sistemas de separación en origen, guías de clasificación local, equipos y sistemas de recolección hacen que los residuos sólidos presenten una alta heterogeneidad (Edjabou et al., 2015).

Según Hoornweg y Bhada-Tata (2012) la composición de los residuos sólidos se puede resumir para fines de planificación en las categorías de orgánico, papel, plástico, vidrio, metales y "otros". Para conocer porcentajes de representatividad de otras categorías como residuos de construcción y demolición o residuos industriales, comerciales e institucionales se recomienda una revisión caso por caso para ciudades específicas.

Se rescatan aspectos de interés como que en general, los países de ingresos bajos y medios tienen un alto porcentaje de materia orgánica en el flujo de residuos urbanos, que oscila entre 40% y 85% del total. Delimitando a América Latina y el Caribe, en cuanto a la materia orgánica, el alto contenido de este flujo de residuos es alrededor del 50% (Margallo et al., 2019). Por el contrario, otras categorías como el papel, el plástico, el vidrio y metales aumentan en el flujo de residuos de los países de ingresos medios y altos (Hoornweg y Bhada-Tata, 2012).

Tomando en consideración aspectos socioeconómicos de las clases sociales y su correspondencia con la generación de residuos sólidos, existe un amplio consenso en que los estratos de población de altos ingresos generan más residuos sólidos, pero con un porcentaje menor de materia orgánica en comparación con grupos sociales de ingresos medios a bajos. Para el año 2012 se presentó un porcentaje a nivel mundial de residuos orgánicos para la clase media alta y alta de un 54% y 28% respectivamente. En contraste con las clases de ingreso medio bajo a bajo con un porcentaje de representatividad de materia orgánica de 59% y 64% respectivamente (Hoornweg y Bhada-Tata, 2012).

En Costa Rica se han realizado estudios de composición en varias municipalidades y por ejemplo Campos y Soto, (2014) encontraron que, dependiendo del estrato social, la generación de residuos orgánicos ronda entre 44 y 52%. Herrera y Rojas, (2016) hallaron en cuatro municipios del Gran Área Metropolitana como componente mayoritario los residuos orgánicos con un 55,9%, seguidos de materiales con alto potencial para ser reciclados o utilizados como combustibles (plásticos 10,2%, papel y cartón 10,4%).

Partiendo de lo anterior y reconociendo los desafíos que enfrentan los países en vías de desarrollo en términos de mejoramiento de sus sistemas de manejo de residuos sólidos, se deben buscar alternativas al tratamiento de residuos. Una gestión integral de los residuos, en la cual se parta de la reducción, y se continúe con técnicas de valorización como el reciclaje y el compostaje; para de esta forma disminuir el volumen de residuos sólidos destinados a rellenos sanitarios y vertederos.

3.2 GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS

La gestión de residuos sólidos varía según las regulaciones de cada nación, en especial se da una gran diferencia entre países desarrollados y los que se encuentran en vías de desarrollo. Un grave problema que incrementa esta brecha es el enfoque del manejo de residuos sólidos, ya que se han desarrollado prácticas individualistas que tratan los problemas de manera independiente, por ejemplo, la disposición final en botaderos clandestinos o en ríos y quebradas. Sin embargo, entre los mismos problemas existe una interconexión que de tener una adecuada gestión permitirán diseñar sistemas integrales, donde se promueva enfoques holísticos que tengan en cuenta aspectos culturales, medioambientales, sociales y políticos, así como todas las partes interesadas del sistema de gestión de residuos sólidos (Abdoli et al., 2016).

El manejo de los residuos sólidos municipales es de mucha importancia tanto por su cantidad, así como por los impactos sanitarios y ambientales de su disposición, la generación de lixiviados y de gases efecto invernadero. Para su disminución, en eventos de alcance mundial se ha adoptado una jerarquía para la gestión de los residuos sólidos municipales que estimula

la reducción de la disposición final de los biorresiduos y su aprovechamiento por medio de opciones de tratamiento biológico como el compostaje (Oviedo et al., 2012).

En Costa Rica la Ley para la Gestión Integral de Residuos Sólidos N° 8839 (2010) tiene por objeto regular la gestión integral de residuos y el uso eficiente de los recursos, mediante la planificación y ejecución de acciones regulatorias, operativas, financieras, administrativas, educativas, ambientales y saludables de monitoreo y evaluación. Parte de lo establecido en esta ley respecto a la valorización de residuos sólidos está en su artículo 23, donde se indica lo siguiente:

Fomentar la aplicación de la presente Ley, mediante la realización de acciones conjuntas con la comunidad para la gestión integral de residuos, con énfasis en la valorización de los materiales contenidos en ellos. Para tal fin, podrán establecer convenios de cooperación con comunidades urbanas y rurales, instituciones académicas, micro y pequeñas empresas, cooperativas y otras formas de organización social, de la gestión integral de residuos.

La valorización de los residuos sólidos según la Ley 8839 consiste en la recuperación del valor de los residuos para los procesos productivos, la protección de la salud y el ambiente. Dentro de la valorización se encuentran acciones como el reciclaje de materiales y el compostaje de residuos orgánicos.

El compostaje es una forma adecuada para el reciclaje de residuos orgánicos de manera económica y amigable con el ambiente. Como resultado de los tipos, naturaleza y composición de los residuos de los países en vías de desarrollo, esta práctica sigue siendo la técnica de manejo más económica y eficiente sobre otras opciones de manejo (Taiwo, 2011).

3.3 COMPOSTAJE

El compostaje es la conversión controlada de productos y residuos orgánicos degradables en productos estables con la ayuda de microorganismos (Ayilara et al., 2020). El compostaje puede llevarse a cabo tanto en condiciones aeróbicas como anaeróbicas. La mayoría de los sistemas de compostaje funcionan de forma aeróbica porque se requiere menos energía por unidad de peso de la materia orgánica para su degradación. Paralelamente, durante el proceso

de compostaje aérobico, se presentan variables que son importantes considerar, como la temperatura, el pH, la humedad y la relación carbono nitrógeno (Borrero, 2014). Añadiendo Onwosi et al., (2017) incluye al factor de aireación en la efectividad del proceso de compostaje. En la Figura 1 se presenta un esquema del proceso del compostaje.

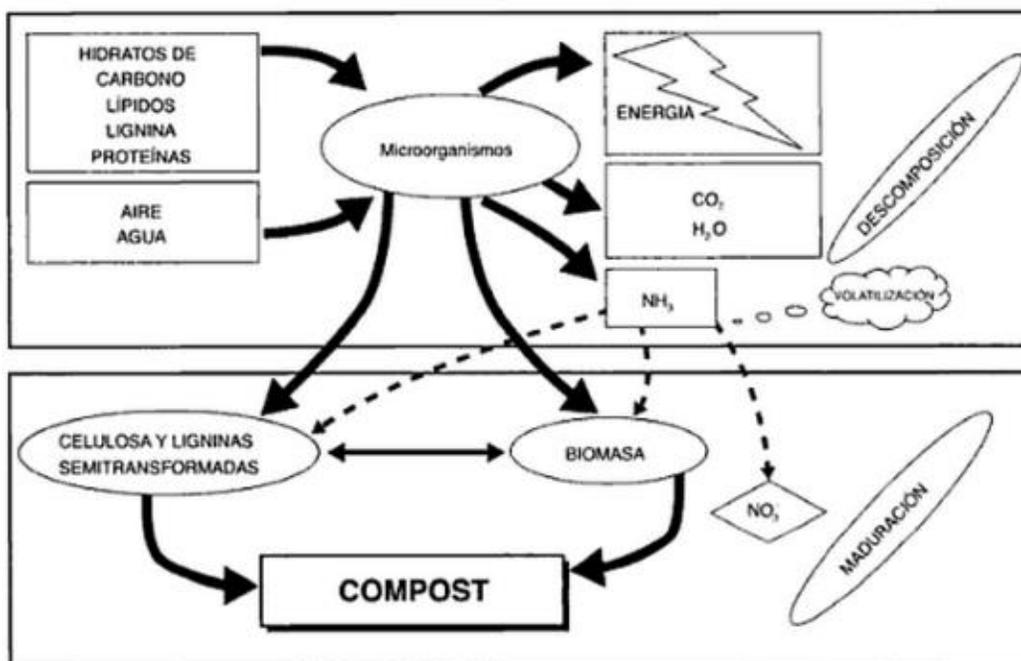


Figura 1. Esquema del proceso de compostaje. Tomado de Arrigoni. (2011).

Respecto a la temperatura, en el proceso se combinan fases mesófilas (temperatura y humedad medias) y termófilas (temperatura superior a 45°C) como se indica en la Figura 2 (Negro et al., 2000). El calor generado durante el proceso destruye significativamente las bacterias patógenas y huevos de parásitos presentes en el material de partida, dando lugar a un producto final altamente higienizado (Vicente et al., 1996). También a través de la elevación de temperatura se puede afectar la viabilidad de semillas de hierbas no deseadas, siendo un buen efecto para su uso a nivel productivo. En cuanto al pH, según Borrero (2014) el proceso de compostaje es relativamente poco sensible al pH dentro del rango que presentan las mezclas de residuos orgánicos (pH de 3 – 11), debido al gran espectro de microorganismos presente. Sin embargo, en general, el pH sigue un patrón en el compostaje; disminución de los niveles de pH en las primeras etapas del compostaje y también elevación de los niveles de pH en las últimas etapas del compostaje (Turan, citado en Onwosi et al.,

2017). Krogmann et al., (2010) señalan que un rango adecuado de pH se encuentra entre 7 y 8 en el compostaje aeróbico.

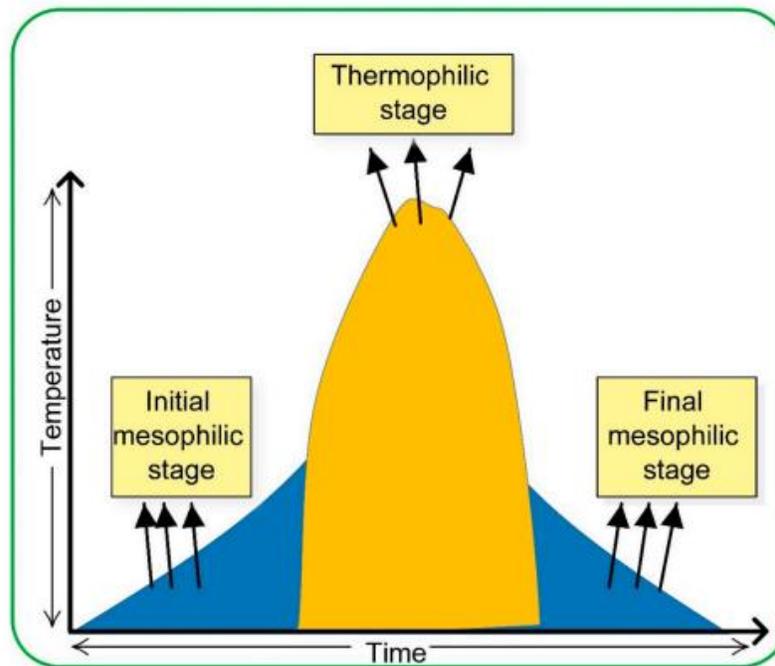


Figura 2. Cambios de temperatura durante el proceso de compostaje. Tomado de Ayilara et al. (2020).

En el transcurso de un proceso de compostaje, el procedimiento más habitual para la aireación es el volteo del material. Esto hace que los componentes estén disponibles para la utilización microbiana. Distintos autores han informado de diferentes regímenes de giro. Los cuales van desde una vez al día hasta el volteo semanal de la materia prima (Onwosi et al., 2017).

Un contenido de humedad menor 30% inhibe la actividad microbiana. El contenido de humedad ideal en el proceso de compostaje oscila entre el 50% y el 60%. Si el contenido de humedad es superior al 65%, la descomposición se ralentizará, provocando condiciones anaeróbicas, causando olores y separando los nutrientes por la fuga de agua (Argun et al., 2017).

Los principales nutrientes que necesitan los microorganismos que participan en el compostaje son el carbono, nitrógeno, fósforo y potasio; siendo el carbono y el nitrógeno los más importantes. El carbono se utiliza como fuente de energía, mientras que el nitrógeno se

emplea para construir la estructura celular (Onwosi et al., 2017). Según Vicente et al., (1996) la relación óptima carbono/nitrógeno (C/N) en los materiales iniciales está comprendida entre 25 y 35. Si es superior a 35, el exceso de carbono es oxidado y la relación C/N desciende a valores más adecuados para el metabolismo. Si la relación es inferior a 25, se producen pérdidas considerables de nitrógeno en forma de amoníaco. En una fermentación aerobia correcta no debe perder más del 20% de la cantidad inicial del nitrógeno.

Es importante saber qué residuos son los que pueden ser tratados mediante compostaje. Estos son los residuos de materia orgánica, que se componen por todos aquellos materiales como residuos de comida de hogares y restaurantes, productos alimenticios no consumidos, residuos de jardinería y procesos agroindustriales (I Plan Nacional de Compostaje, 2020). Como ya se mencionó previamente, la fracción de residuos orgánicos en países en vías de desarrollo es alta, por lo tanto, el compostaje es un método apropiado para la correcta gestión de dichos residuos.

Taiwo (2011) señala que el compostaje tiene varias ventajas como los bajos costos de operación, la disminución de la contaminación de agua, aire, suelo y los beneficios asociados al uso de los productos finales del compostaje. Estos productos se pueden utilizar de manera segura como biofertilizantes y mejoradores de suelos (Ayilara et al., 2020). También, la fracción de tipo húmico de los compost mejora el crecimiento y la salud de las plantas y también ejerce un biocontrol sobre diferentes fitopatógenos transmitidos por el suelo, como los hongos (Onwosi et al., 2017).

3.3.1 Compostaje centralizado y descentralizado

Existen diferentes sistemas de administración del compostaje. La primera de ellas es el compostaje centralizado o plantas de cribado y compostaje. Estas son empresas privadas o públicas que cuentan con un área de recepción de residuos, un área central de cribado que cuenta con una cinta transportadora que separa los residuos, un área de compostaje, un vertedero para los residuos no reutilizables y un sistema de tratamiento de lixiviados de vertedero. En la cinta de cribado, la separación de los residuos en sus diferentes componentes y el grado de separación depende de la cantidad y de la eficacia del personal implicado.

También depende de la velocidad de la cinta, siendo las más pequeñas las que garantizan procesos de cribado más eficientes (De Siqueira y Assad, 2015). Tienen la ventaja de poder tratar todos los residuos sólidos urbanos de uno o varios municipios, en un mismo lugar. La desventaja es que producen un compost de baja calidad debido a la mala forma en que se recogen los residuos (mezclados con diferentes residuos). Además de ser deficientes en nutrientes, la presencia de metales pesados y residuos inertes (Barreira citado por De Siqueira y Assad, 2015).

El compostaje descentralizado es una opción bastante diferente que se realiza en jardines privados en pequeñas cantidades para su uso como acondicionador del suelo. Con el aumento de la urbanización, esta práctica se fue abandonando progresivamente en favor del tratamiento centralizado de los residuos. En los últimos años se ha vuelto a poner de moda, sobre todo por la creciente conciencia medioambiental (Fehr, 2007).

Varias ventajas surgen del compostaje descentralizado, como lo señalan Bruni et al., (2020) se tiene que puede ayudar a disminuir el coste y el esfuerzo de transporte de los residuos para su procesamiento y tratamiento, y reducir aún más la necesidad de construir nuevas instalaciones de eliminación, permitir la reutilización local de la materia orgánica, crear empresas locales a pequeña escala, así como reducir los costes asociados a la compra de fertilizantes comerciales, debido a un aumento en su eficiencia al combinar este insumo con la aplicación de compost al suelo. Hay que recordar que el compost no tiene el mismo grado de solubilidad que los fertilizantes o bio-fertilizantes y por ende no cumple el mismo rol en la nutrición del suelo. Además, el producto final del compost es comparativamente de mayor calidad debido a la separación eficiente y a la menor interconexión de los residuos.

3.3.2 Compostaje doméstico

El compostaje doméstico, o compostaje de patio, es el compostaje de biorresiduos y el uso del compost en un jardín privado (Colón et al., 2010). El compostaje en contenedores es uno de los métodos más comunes de reciclaje de biorresiduos en el hogar, con un contenedor individual por vivienda, o a escala comunitaria, compartiendo uno o más contenedores entre varios hogares (Storino et al., 2017).

Dentro de las ventajas del compost doméstico están que este evita la recolección de una parte importante de los residuos sólidos urbanos, reduciendo así las inversiones económicas, materiales y energéticas en infraestructuras. Además, implica un menor uso de la tierra y, por último, permite un control más específico del proceso de compostaje y de los materiales orgánicos tratados (Colón et al., 2010).

Respecto a los materiales orgánicos tratados mediante compostaje doméstico, vale la pena señalar que según los datos de algunos programas de compostaje doméstico no parece haber ninguna razón para excluir los componentes de la carne o el pescado del compostaje doméstico, ya que su inclusión no ha presentado ningún problema en el proceso, sino que favoreció una mayor actividad de compostaje a temperaturas más altas en la fase termófila debido a la relación C/N y al enriquecimiento de nutrientes en el proceso de compost (Soto, citado por Vásquez et al., 2015).

Un aspecto que se debe rescatar son las prácticas del compostaje según nivel de ingreso de los habitantes. Según Hoornweg y Bhada-Tata, (2012) en los estratos de bajo ingresos rara vez se lleva a cabo formalmente, aunque el flujo de residuos tiene un alto porcentaje de materia orgánica. Faltan mercados para el compost y la concientización al respecto. En estratos de ingresos medios las grandes plantas de compostaje no suelen tener éxito debido a la contaminación y a los costes de funcionamiento (poca separación de residuos); algunos proyectos de compostaje a pequeña escala a nivel de comunidad/barrio son más sostenibles. En grupos de ingresos altos es cada vez más popular las instalaciones de traspatio y a gran escala.

3.3.2.1 Calidad de compost doméstico

Como lo indican Ansorena et al., (2014) la calidad del compost no es un concepto absoluto, sino que depende de los usos a que se destine. Esta se podría definir como “la capacidad del compost para satisfacer las necesidades de las plantas, con un mínimo impacto ambiental y sin riesgo para la salud pública”.

La calidad de un compost determinado puede medirse desde dos puntos de vista principales según Ansorena et al., (2014):

Mediante experimentos de campo, en los que se mide la respuesta de las plantas en condiciones reales de cultivo a diferentes dosis de compost, en términos de producción de biomasa, crecimiento radicular, número de hojas o de flores, etc.

Midiendo un conjunto de propiedades, algunas de las cuales, como las organolépticas (olor, color, tamaño de partícula, presencia de elementos impropios tales como plásticos, vidrio, etc.) pueden evaluarse sensorialmente, mientras que las propiedades físicas, químicas y biológicas (densidad, porosidad, aireación, pH, conductividad eléctrica, nutrientes, metales pesados, contaminación bacteriológica, etc.), normalmente se determinan en el laboratorio.

El principal requisito de un compost para que pueda utilizarse con seguridad en el suelo es su grado de estabilidad o madurez, que implica un contenido estable de materia orgánica y la ausencia de compuestos fitotóxicos y patógenos vegetales o animales. La madurez está asociada al potencial de crecimiento de las plantas o a la fitotoxicidad, mientras que la estabilidad suele estar relacionada con la actividad microbiana del compost. No obstante, ambos términos suelen ir de la mano (Bernal et al., 1998).

Otras investigaciones indican que la calidad del compost es un importante factor ambiental que se relaciona con la presencia de diversos contaminantes inorgánicos y orgánicos recalcitrantes, su estabilidad, el contenido de nutrientes y otros parámetros fisicoquímicos y biológicos (Vásquez et al., 2015). Además, otro aspecto importante a la hora de reconocer la calidad del compost es la presencia de contaminantes físicos resultantes de una inadecuada clasificación de los residuos en el hogar (Vásquez y Soto, 2017).

Por consiguiente, para evaluar la calidad del compost se deben analizar las condiciones de compostaje en las aplicaciones de campo. Estas varían ampliamente no sólo en relación con, por ejemplo, el material de origen, el tipo de contenedor de compost, la duración del tiempo de compostaje, etc., sino también con respecto a las condiciones climáticas regionales que

pueden afectar significativamente al desarrollo del compost, la eficiencia y las emisiones ambientales (Vásquez et al., 2015).

La temperatura es un factor importante para que suceda la transformación de la materia orgánica (Borrero, 2014). Se ha encontrado que la temperatura en las composteras domésticas puede permanecer sólo unos pocos grados por encima de la temperatura ambiente, por lo que varía según las estaciones y las regiones. Las temperaturas máximas, alcanzadas durante las condiciones de verano, rara vez alcanzan valores termófilos en diferentes países con variedad de climas (Vásquez et al, 2015).

Respecto a la relación C/N como parámetro de calidad en el compost, varios autores utilizan dicha relación como indicador de la estabilización de la materia orgánica (Vásquez y Soto, 2017). De esta manera autores como Bruni et al., (2020) indican que una relación C/N entre el 25 y 30 es usualmente considerada como relación óptima para el proceso de compostaje. Varios autores mencionados en el estudio de Onwosi et al., (2017) señalan ratios de C/N iniciales entre 25 y 30, 25 y 40, inclusive valores de 25 hasta 50 siguen siendo valores recomendados para compostaje. Continuando con los factores importantes en el proceso de compostaje, en relación al pH, mientras este se encuentre en el rango de 6,7-9,0 favorecerá una buena actividad microbiana durante el compostaje (Bruni et al., 2020).

Por otra parte, Bruni et al., (2020) señalan que, por lo general, los materiales utilizados para el compostaje son fácilmente degradables y tienen propiedades nutritivas y fertilizantes; por lo tanto, siempre deben añadirse materiales menos comprimibles con funciones estructurantes beneficiosas (denominados agentes de carga, como pajas, astillas de madera, serrín, etc.) para lograr un proceso de compostaje eficaz. Estos materiales pueden ayudar a ajustar el contenido óptimo de humedad, así como dar suficiente porosidad a la masa y asegurar el paso de oxígeno dentro de las pilas para la actividad microbiana.

3.3.2.2 Usos del compost doméstico

El compost puede usarse en diversas aplicaciones, que presentan diferentes niveles de exigencia de calidad, y que globalmente suelen agruparse en las siguientes categorías según Ansorena et al., (2014):

Sustratos o soportes de cultivo, es decir, los materiales distintos de los suelos, que permiten el crecimiento del sistema radicular de las plantas. Normalmente, los sustratos se emplean para el cultivo de plantas en macetas, jardineras o cualquier otro tipo de contenedor. Pero en algunos sectores de la jardinería profesional, como los jardines públicos y los campos deportivos, se manifiesta una tendencia creciente a la sustitución del suelo natural por sustratos obtenidos a partir de mezclas de diversos materiales (tierra natural, arena, turba, compost, etc.).

Enmiendas orgánicas: materia orgánica procedente de materiales carbonados de origen vegetal o animal, utilizada fundamentalmente para mantener o aumentar el contenido en materia orgánica del suelo, mejorar sus propiedades físicas y mejorar también sus propiedades o actividad química o biológica. Las enmiendas añadidas al suelo suelen resultar beneficiosas en todo tipo de texturas, desde suelos arenosos (incremento de la retención de agua y nutrientes) hasta arcillosos (aumento de la porosidad, aireación, permeabilidad, etc.).

Abonos orgánicos: productos cuya función principal es aportar nutrientes para las plantas, los cuales proceden de materiales carbonados de origen animal o vegetal. Pueden sustituir total o parcialmente a los fertilizantes minerales, aportando al mismo tiempo al suelo materia orgánica humidificada que, como las enmiendas orgánicas, mejora sus propiedades físicas y biológicas (efecto supresor de enfermedades).

Además, se ha demostrado que el uso del compost maduro como enmienda de suelo disminuye las posibles enfermedades de las plantas cultivadas en los suelos tratados, esto se debe en gran medida a la presencia de microorganismos beneficiosos como los *Bacillus* (Mehta et al., citados en Ruiz, 2019).

Röben, (2002) señala que el compostaje obtenido en el jardín domiciliario puede utilizarse como abono o como tierra humus en las aplicaciones mostradas en los Cuadros 1, 2 y 3. En el Cuadro 1 se detalla la cantidad aproximada de compost necesaria para diferentes condiciones edafoclimáticas, variedad de planta utilizada y objetivos, como mejorar la

calidad de la tierra, el enriquecimiento de esta, así como las diferentes aplicaciones del compost. En el Cuadro 2 se exponen más usos del compost, principalmente para el mantenimiento de espacios verdes. Los tipos de cultivos y la cantidad de compost para abonarlos se especifica en el Cuadro 3.

Cuadro 1. Uso del compost en la agricultura

Aplicación	Objetivo	Cantidad necesaria de compost	Frecuencia de aplicación	Forma de aplicación
Preparación del terreno	Mejorar la calidad de la tierra	< 15 kg/m ²	Una vez	Mezcla del compost con la tierra profundamente
Cultivo de papas, zanahoria y legumbre semejantes	Enriquecimiento de la tierra	3 – 5 kg/m ²	1 x / 2 años	Mezcla superficial del compost con la tierra
	Uso como abono	3 – 6 kg/m ²	1 x / año	
Trigo, avena, cebada, centeno, maíz	Enriquecimiento de la tierra, uso como abono	2 – 4 kg/m ²	1 x / 2 años	Mezcla superficial del compost con la tierra
Pasto, pradera	Enriquecimiento de la tierra	3 – 6 kg/m ²	1 x / 2 años	Dispersar sobre la superficie

(Fuente: Röben, (2002)).

Cuadro 2. Uso del compost para la horticultura, silvicultura y arquitectura del paisaje

Aplicación	Cantidad necesaria de compost (m³/ha)	Frecuencia de aplicación
Viveros y planteles	10 - 14	1 x / 2 años
Cultivo de árboles frutales	10 - 14	1 x / 3 años
Arquitectura de paisaje, siembra de plantas al lado de calles y caminos	500 - 700	Una vez
Mantenimiento del césped	10 - 14	1 x / año
Mantenimiento de áreas de deporte	25 – 35	1 x / año
Mantenimiento de macizos	15 – 21	1 x / año
Floricultura	6 – 8.5	1 x / año

(Fuente: Röben, (2002)).

Cuadro 3. Uso del compost en hortalizas

Tipo de hortaliza	Unidad	Cantidad necesaria de compost	Período de aplicación
Col (cabezas)	g/planta	500	Trasplante
Culantro	kg/m ²	7	Siembra directa
Tomate	g/planta	750	Trasplante y en la floración
Vainica	g/planta	500	Siembra directa
Zanahoria	kg/m ²	5	Siembra al aporque
Cebolla	g/planta	250	Siembra directa
Pepino	g/planta	100	Siembra directa
Nabo	kg/m ²	4	Siembra directa
Rabanito	kg/m ²	4	Siembra directa
Col china	g/planta	500	Trasplante
Ají	g/planta	500	Trasplante y con 3 meses

(Fuente: Röben, (2002)).

Añadiendo otro uso que se le da al compost maduro, es que una vez tratado se pueden obtener fracciones líquidas con un alto contenido en materia orgánica como el extracto de compost o el té de compost (Ruiz, 2019). También, Röben (2002) explica que se puede utilizar el compost para la construcción de filtros biológicos. Los filtros biológicos se pueden utilizar para el tratamiento del aire usado de las siguientes industrias:

- Industria alimentaria
- Industria química (producción de plásticos y de solventes)
- Industria de cuero
- Ganadería y avicultura industrial

- Plantas mecanizadas de tratamiento de desechos sólidos

Otro uso que indica Boldrin et al., (2009) que puede tener el compost producido a partir de residuos orgánicos es la alternativa a la turba en la producción de medios de cultivo. Considerando diferentes densidades de compost y turba, se asume que una tonelada de compost puede sustituir el uso de 0,2-1 toneladas de turba. Por otra parte, según Adhikari et al., (2010) el destino del compost doméstico es siempre el huerto o jardín familiar.

3.3.3 Comportamiento de los usuarios

Investigaciones anteriores han tenido en cuenta el comportamiento del compostaje doméstico (también llamado aceptación del compostaje doméstico, así como la participación en el compostaje doméstico) con el fin de determinar qué afecta la conducta de los grupos de personas que generan compost y de los no lo hacen (Loan et al., 2019).

En cuanto a los obstáculos para no compostar, en un estudio realizado en un municipio al norte de Grecia se determinó que la presencia de moscas era el principal problema (representando un 35%), seguido por la lentitud del procedimiento de compostaje (23%), la cantidad inadecuada de ingredientes (21%), mientras que el 19% no podía mover el cubo y el 17% lo encontraba maloliente. Por otro lado, también se reveló que la gente no produjo compost debido a: (a) la escasa capacidad del cubo de compostaje, (b) el tiempo que les impide llevar los desechos orgánicos al cubo y (c) su voluntad de alimentar a las mascotas en lugar de deshacerse de sus residuos de alimentos (Karkanias et al., 2016).

En el estudio realizado en varias regiones de Reino Unido por Tucker et al., (2003) la investigación se centró en las personas que han empezado a producir compost de manera reciente, principalmente las que han respondido a una oferta promocional de un contenedor de compost gratuito o subvencionado. Sin embargo, como lo señalan los autores, la aceptación del compostaje sólo proporciona la mitad del panorama real en la producción del compost. Para que la actividad se mantenga a largo plazo, hay que evitar el abandono. Es por esto que se analizaron las razones por cuales las personas inician el proceso de compostaje y las razones por las cuáles dejan de hacerlo.

Las principales razones por las cuales dejaron de producirlo fueron por mudanza de vivienda (29%), porque el compost era ineficiente (22%), porque no generaban suficientes residuos (8%), la falta de tiempo (6%) o porque no contaban con una buena locación para la compostera/falta de jardín (5%), entre otras (Tucker et al., 2003). Mudarse de vivienda era a menudo sinónimo de mudarse a una casa con un jardín más pequeño en países como Inglaterra.

El estudio realizado en Irán por Kopaei et al., (2021) destacan que, según los resultados, las mujeres tienden a estar más dispuestas a realizar el compostaje doméstico que los hombres. Esto se puede deber a que las mujeres participan más a menudo en las iniciativas de compostaje en los países en desarrollo, ya sea a través del empoderamiento económico o de los programas comunitarios que implican el compostaje o por su mayor compromiso con la gestión del hogar.

Además, concluyen que los esfuerzos para el avance de programas de compostaje doméstico en países en vías de desarrollo deben enfocarse en, primero mejorar la comunicación sobre los problemas medioambientales relacionados con los residuos orgánicos no tratados; segundo concientizar a la gente y familiarizarla con las consecuencias positivas del compostaje y las etapas de producción de compost, y tercero inculcar el sentido de la responsabilidad del compostaje doméstico para alcanzar los beneficios positivos relacionados a este proceso (Kopaei et al., 2021). Asimismo, en el estudio de Karkanias et al., (2016) se menciona la importancia de los seminarios de información que tuvieron lugar antes de la colocación de las composteras, en los que se proporcionaron a las participantes directrices específicas para participar en el plan de compostaje.

Mientras tanto, otros resultados presentados por Loan et al., (2019) muestran que el conocimiento, la actitud hacia el compostaje doméstico y la presencia de un jardín son extremadamente importantes para predecir el comportamiento de compostaje. Por lo tanto, estos factores se reconocen como significativos comunes para el modelo de aceptación del compostaje doméstico y de nivel de práctica de compostaje doméstico.

Finalmente, de acuerdo con Tucker et al., (2003) es importante para la planificación estratégica de los residuos, determinar los niveles de participación en el compostaje doméstico. Para ello es necesario conocer los hogares que ya están compostando y lo han hecho durante algún tiempo, así mismo el número de nuevos compostadores que han sido reclutados a través de campañas de promoción. A estos se les ha denominado compostadores "latentes". Los niveles de los compostadores actuales más los latentes determinarán en última instancia los niveles de participación en el compostaje doméstico que podrían alcanzarse de forma realista en la población.

3.4 SITUACIÓN EN COSTA RICA

El tema del compostaje doméstico se ha venido impulsando en múltiples países como el Reino Unido, España, Dinamarca, Suecia, Japón y Alemania; siendo todos ellos países desarrollados. No cabe duda de que el compostaje doméstico no se ha convertido en un foco de atención en los países en desarrollo (Loan et al., 2019). No obstante, en Costa Rica con el I Plan Nacional de Compostaje se pretende mejorar la gestión de residuos sólidos del país. Para ello, se establecen siete ejes, los cuales son:

1. Gestión de materia orgánica
2. Actualización de la normativa
3. Carbonización del suelo
4. Emprendimiento e Innovación
5. Cambio cultural
6. Contribución a la descarbonización y al manejo, reporte y verificación (MRV)
7. Sostenibilidad financiera

Estos ejes permitirán incorporar paulatinamente el uso adecuado y eficiente de los materiales orgánicos, fomentando la economía circular. El I Plan Nacional de Compostaje es uno de los instrumentos que se atan al Plan Nacional de Descarbonización y su objetivo es contribuir con la descarbonización, facilitando condiciones en la sociedad para incorporar en la cotidianeidad aquellas prácticas que evitarán el envío de materia orgánica a los rellenos

sanitarios, lo cual disminuirá las emisiones de metano en estos sitios (I Plan Nacional de Compostaje, 2020).

Es por esto, que varios cantones del país ya han iniciado programas de compostaje en sus municipios. Algunos ejemplos son: la municipalidad de Desamparados, que desde el 2018 inició con el proyecto. Este consistió en capacitar a los ciudadanos del cantón en compostaje mediante el método Takakura, para el 2018 se capacitaron alrededor de 400 personas con este método y se les entregaron unas 300 cajas con el sustrato para iniciar su compost. Además, posteriormente se capacitaron y entregaron a 120 familias de Desamparados una tómbola 360 para que generen su propio compost (Municipalidad de Desamparados, 2018).

Otro gobierno local que ha iniciado con el compostaje entre sus habitantes es La Unión. Desde el 2018 ha entregado composteras a centros educativos y hogares, con el objetivo de disminuir la cantidad de residuos orgánicos que se generan, y fomentar que los ciudadanos compartan la responsabilidad de realizar el tratamiento desde la fuente (Municipalidad de La Unión, 2018).

Por otra parte, como se indica en el I Plan Nacional de Compostaje (2020) es importante considerar que el éxito del procesamiento de los residuos orgánicos y la producción de compost implica un cambio en la forma que el costarricense tratará sus residuos orgánicos, por lo que el acompañamiento técnico y la mejora continua son herramientas que deben estar presentes a lo largo del proceso. De igual forma, en este mismo documento se identificaron múltiples barreras en cuanto al tema de compostaje en Costa Rica, dentro de las que destacan:

- Falta de incentivos y reconocimientos, económicos, directos e indirectos.
- Falta reglamentación de la Ley de Residuos para compostaje.
- La Ley de Agricultura Orgánica es muy estricta para uso de abonos.
- Ausencia de asociatividad, no existen organizaciones específicas de composteros.
- Legislación compleja y deficiente en materia de multas, se debería promover la separación de manera obligatoria, poco seguimiento y procesos sancionatorios.
- Carencia de modelos exitosos de comercialización por parte de los gobiernos locales, se carece de modelo administrativo-financiero para establecer un plan de “negocio”.

- Barreras para el registro del producto final (etiquetado para abonos orgánicos).
- Barreras culturales, poca sensibilización y empoderamiento, mala percepción del compostaje (por ejemplo, genera moscas y malos olores).
- Existen intereses político-privados para mantener el manejo del modelo de rellenos sanitarios.
- Falta de monitoreo/cuantificación que permita diagnosticar mejor.
- Poco espacio físico en viviendas para compostaje.

3.4.1 Situación en el cantón de Belén

El Plan Municipal para la Gestión Integral de Residuos Sólidos del Cantón de Belén establece la necesidad de formular y aplicar acciones para la gestión de los residuos orgánicos en el cantón. Dicha propuesta se basa en los resultados de los estudios de generación y caracterización de los años 2011 y 2015; que demuestran que los residuos orgánicos constituyen el 50% de la generación cantonal (Municipalidad de Belén, 2020). Es por esto que surge el Programa de Incentivos para la Gestión de los Residuos Orgánicos del Cantón de Belén. Este es un programa de participación voluntaria exclusivo para usuarios residentes del cantón de Belén; y en donde la Figura 3 muestra el proceso de selección y aplicación del programa.

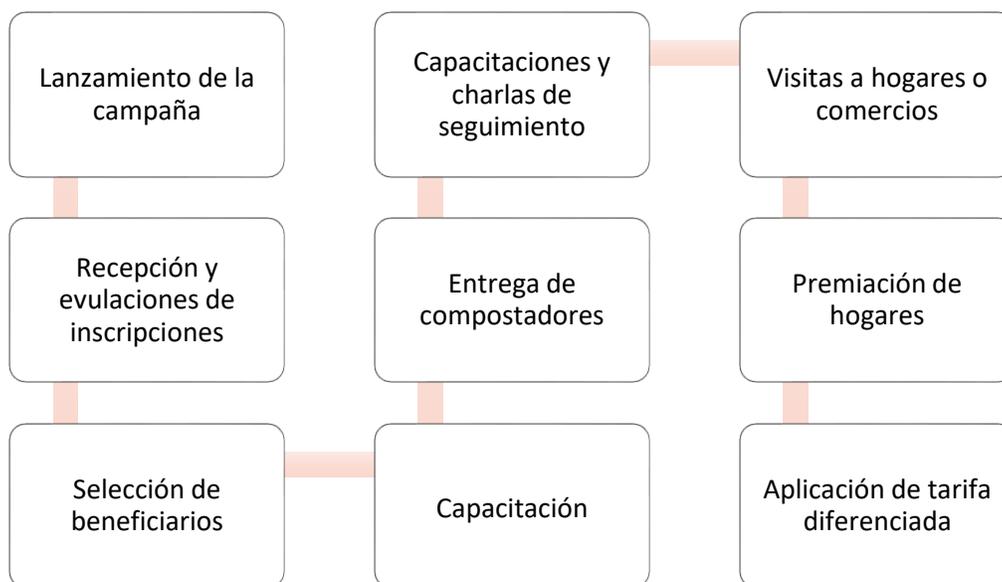


Figura 3. Proceso de selección y aplicación del programa. Tomado de Municipalidad de Belén (2020).

Para participar, el interesado debe demostrar su compromiso ambiental en la gestión de los residuos sólidos y que posee las condiciones de espacio para recibir un sistema de manejo de residuos orgánicos domiciliarios. Para ello, la persona debe demostrar su participación en el programa municipal de reciclaje (residencias) o en la estrategia de reducción de plásticos de un solo uso (comercios), estar al día con el pago de impuestos y servicios municipales y contar con una área verde o espacio techado (un jardín interno o externo, patio, corredor techado) donde poder colocar la compostera casera.

Para la aplicación práctica de las capacitaciones, es requisito contar con este espacio para evitar que la compostera se encuentre a la intemperie ya que el agua de lluvia, llovizna o sereno mojaría el material a lo interno de la compostera, lo que afectaría de manera negativa el proceso de compostaje. En el caso de los condominios, debe contar con un área que pueda destinarse a la colocación de una compostera comunitaria. Además, la persona interesada debe permitir que representantes de la municipalidad realicen visitas de seguimiento en la vivienda; así como aportar información que se solicite acerca del uso y funcionamiento de los sistemas de manejo de residuos orgánicos. Por último, debe firmar una declaración jurada y una carta de compromiso del programa por un período mínimo de 6 meses (Municipalidad de Belén, 2020).

Para el año 2020 la municipalidad de Belén entregó 285 unidades de composteras modelo KS-100 ver Figura 4. Este consiste en un sistema de compostaje por tecnología de tambor rotatorio. Estas composteras fueron entregadas en casas de habitación con espacios cerrados y sin acceso a patio con piso de tierra. Además, se hizo entrega de 110 unidades del modelo Huerta 300 (Figura 5) en casas de habitación con espacios abiertos y con acceso a patio con piso de tierra. Este modelo es un sistema de compostaje cilíndrico por sistema de capas de descomposición (Municipalidad de Belén, 2020).



Figura 4. Compostera marca 360 Soluciones Verdes, modelo KS-100



Figura 5. Compostera modelo Huerta 300

Finalmente, a los vecinos de la comunidad de Belén que demostraran el uso adecuado del sistema de compostaje por un mínimo de 3 meses, se le otorga una tarifa preferencial aplicada al servicio de gestión de residuos. Lo anterior según las condiciones que establece el reglamento municipal GIR. Por último, en caso de que el usuario recibiera una compostera,

el producto final (abono) sería para uso personal del participante o del condominio (Municipalidad de Belén, 2020).

Por tanto, el estudio exploratorio que se presenta a continuación vislumbra un panorama del proceso actual, fortalezas y debilidades del compostaje doméstico en el cantón de Belén. Dicha información servirá para la toma de decisiones del gobierno local y para mejorar la gestión del producto final (compost). Asimismo, la investigación ofrece datos sobre el impacto de las prácticas de las personas en la calidad del compost generado y brinda referencia a próximos programas descentralizados en diferentes municipalidades.

4 MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 LUGAR DE ESTUDIO

El lugar de estudio fue el cantón de Belén de Heredia (Figura 6), específicamente se seleccionaron 32 hogares distribuidos en los tres distritos del cantón: La Asunción, La Ribera y San Antonio. El cantón de Belén que cuenta con una población de 2 102,39 para la totalidad de su territorio (INEC, 2016) es un cantón reconocido por su riqueza en fuentes y manantiales de agua, además dentro de sus principales actividades económicas se destacan actividad industrial, comercial y turística (Municipalidad de Belén, 2022), razones por las cuales en el Plan Municipal para la Gestión Integral de Residuos Sólidos del Cantón de Belén se establece la necesidad formular y aplicar acciones para la gestión de los residuos orgánicos en el cantón (Municipalidad de Belén, 2020).

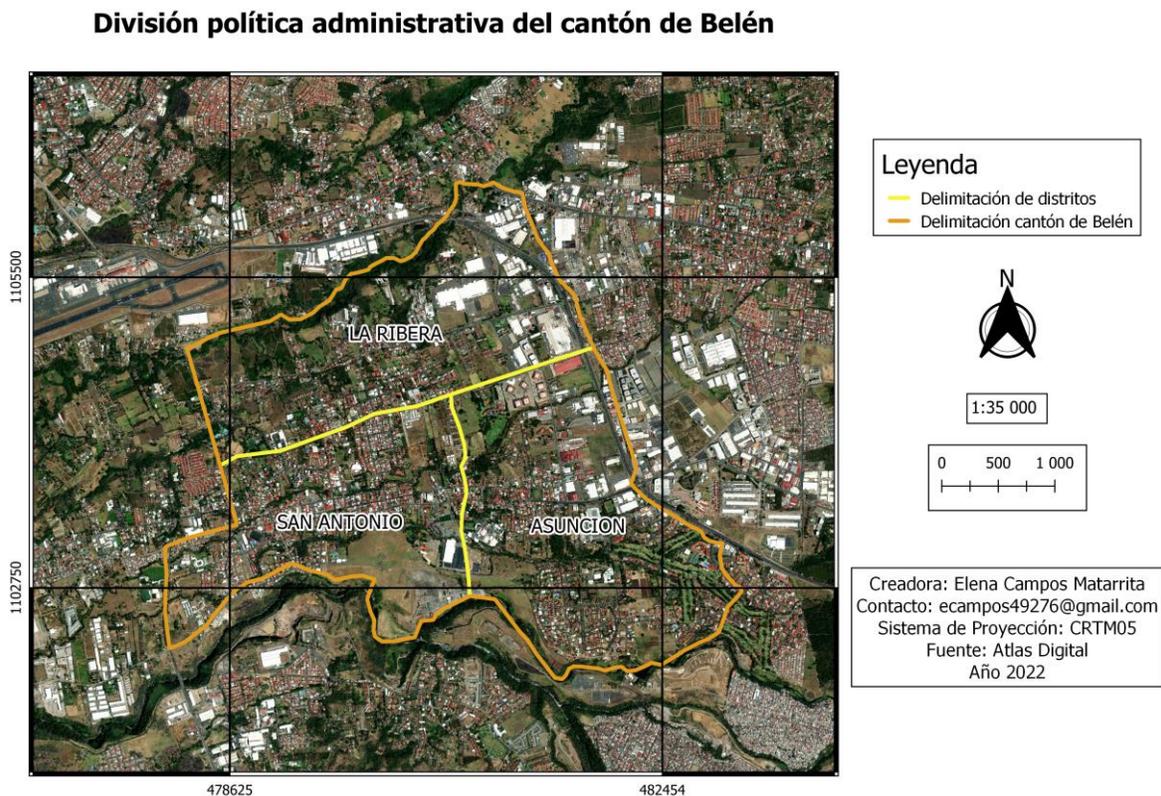


Figura 6. Área de estudio, cantón de Belén

4.2 ESTUDIO CUALITATIVO Y CUANTITATIVO DEL PROCESO DE COMPOSTAJE DOMÉSTICO

Para conocer sobre el estado actual del proyecto de compostaje doméstico de Belén de manera cualitativa se realizaron entrevistas a las personas vecinas del cantón que forman parte del proyecto y que se encontraban en la base de datos facilitada por la municipalidad. El objetivo de la entrevista a las personas usuarias de composteras fue recopilar información sobre prácticas, roles y significados en el proceso de compostaje doméstico.

Además, se entrevistó a la persona a cargo del proyecto dentro de la Municipalidad de Belén para conocer aspectos técnicos del proyecto y cuáles fueron sus experiencias y lecciones aprendidas del proceso. Por otra parte, la investigación se complementó con un análisis cuantitativo del proceso de compostaje al llevar a cabo pruebas de laboratorio con la finalidad de medir parámetros fisicoquímicos indicadores de la calidad de compost producido en el cantón, que posteriormente a su análisis ayudaran a hacer la propuesta de disposición del material compostado.

4.2.1 Planificación del estudio

4.2.1.1 Número de viviendas del estudio

Se definió una investigación de carácter exploratorio por razones económicas y de recurso humano para realizar la investigación, con un tamaño de muestra de 32 hogares considerado el estudio de tipo no probabilístico de una población total de 400 composteras distribuidas en el cantón de Belén de Heredia.

4.2.1.2 Selección de viviendas para la muestra

A partir de la base de datos proporcionada por la Municipalidad de Belén, como se mencionó anteriormente se seleccionaron 32 hogares distribuidos en los tres distritos de Belén de Heredia. La división fue de 10 hogares para el distrito de La Asunción, 10 para el distrito de La Ribera y 12 para el distrito de San Antonio; este último distrito se le añadió dos muestras más a los demás únicamente con el fin de alcanzar el número total de 32. Respecto a los modelos de composteras, eran de dos tipos; Huerta 300 y modelo 360 y se escogió la mitad

de la muestra por distrito para el modelo KS-100 y la otra mitad para el modelo Huerta 300, de manera de que la muestra fuese lo más representativamente posible. Asimismo, la población seleccionada fue notificada por la Municipalidad de Belén de Heredia para que fueran parte de la investigación y se les realizó una entrevista y una visita a sus respectivos hogares para la toma de la muestra de compost.

La elección de los hogares se llevó a cabo estratégicamente considerando las direcciones de los hogares proporcionadas por la municipalidad. Con ayuda de una imagen satelital del cantón fue posible visualizar las ubicaciones de las viviendas de forma aproximada, de manera que al momento del muestreo se contará con una ruta inteligente.

4.2.1.3 Preparación del instrumento para recolección de información – comunidad

Las preguntas realizadas en la entrevista se presentan en el instrumento del apéndice 1. Se establecieron como unidades de análisis las prácticas, roles y significados en el proceso de compostaje doméstico y para ello se diseñaron preguntas de opinión, antecedentes y expresión de sentimientos. Con el instrumento se buscó recopilar tanto aspectos técnicos del proceso de compostaje doméstico como aspectos sociales, como por ejemplo el tema de género. Dicho instrumento fue validado por la municipalidad y por dos personas externas a la comunidad de Belén y conocedoras en el tema de compostaje doméstico. Una de ellas con experiencia académica y la otra con experiencia empírica en el tema.

4.2.1.4 Definición de los parámetros fisicoquímicos

Según Azim, et al. (2017), la calidad del compost es difícil de definir. En la mayoría de artículos científicos, la estabilidad y la madurez del compost se definen implícitamente o no se definen en absoluto. No obstante, Soto y Meléndez (2004) señalan que debido a que la calidad va a depender de la persona usuaria y de sus objetivos, existen variables que son más comúnmente utilizadas para determinar la calidad de los abonos orgánicos, por ejemplo, el compost (ver Figura 7). Se han definido niveles mínimos para la calidad de abonos en forma general, los cuales se muestran en el Cuadro 4.



Figura 7. Tipos de abonos orgánicos. Tomado de Soto y Meléndez (2004).

Cuadro 4. Contenidos de niveles óptimos para abonos orgánicos

Características	Nivel Óptimo
% nitrógeno	> 2
% fósforo	0.15 – 1.5
CICE (meq/100g)	75 – 100
C/N	< 20
Humedad	< 40%
Color	Negro o café oscuro
Olor	Tierra

(Fuente: Paul y Clark, citado en Soto y Meléndez, (2004)).

Así pues, según lo que múltiples autores como Bernal et al., (1998), Vázquez et al., (2015), Kucbel et al., (2019) denominan parámetros básicos a medir en los abonos orgánicos se definieron los siguientes criterios como los parámetros a evaluar en la presente investigación,

los cuales fueron realizados por un laboratorio acreditado que aportó los resultados de las muestras analizadas.

- Carbono total (C)
- Nitrógeno total (N)
- Relación carbono – nitrógeno (C/N)
- pH
- Porcentaje de humedad (%H)
- Conductividad eléctrica (CE)
- Micronutrientes: fósforo (P), potasio (K), cobre (Cu), Zinc (Zn)
- Respiración microbiana

Según Vázquez et al., (2015) el pH influye en el proceso de compostaje a través de los efectos de los iones de hidrógeno en la dinámica de los procesos microbianos. Razón por la cual también fue seleccionado como parámetro a evaluar en las pruebas de laboratorio. Por otro lado, la conductividad eléctrica refleja el contenido mineral soluble de la muestra, que suele comprender los cationes Na^+ , K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} y los aniones carbonato ácido (HCO_3^-), cloruro (Cl^-) y sulfato (SO_4^{2-}). Una salinidad excesiva del compost en el producto final inhibirá la germinación de las semillas y el desarrollo de los cultivos.

La medición de la relación C/N en la fase sólida, es de los principales parámetros a medir para cuantificar el grado de maduración del compost y por lo tanto su calidad. Además, la madurez de un compost puede evaluarse por su estabilidad microbiana. Dentro de los métodos de laboratorio para evaluar la estabilidad mediante el metabolismo latente se incluye el consumo de oxígeno o la actividad respiratoria (Bernal et al., 1998).

A continuación, se detallan las pruebas químicas y biológicas realizadas a las muestras de abono orgánico (AO) con sus respectivas metodologías y técnicas de laboratorio empleadas. Dicha información fue proporcionada por el ingeniero agrícola del laboratorio de suelos y foliares.

Determinación de N y C total: La cuantificación de nitrógeno y carbono total se realizó por medio de un auto analizador que opera bajo el principio analítico de la combustión seca por el método de Dumas. Se pesó entre 85-95 mg de AO seco y molido.

Determinación de la relación de carbono – nitrógeno: cálculo por relación obtenido de los valores anteriores.

Determinación de pH: Se pesó 3,00 g de A.O seco y molido y se agregaron 50 mL de agua desionizada. Se agitó vigorosamente la muestra por cinco minutos y se dejó en reposo por 30 minutos. Luego se calibró el pH-metro (4,0-7,0-10,0) y se realizaron las mediciones.

Determinación de humedad: Se pesó aproximadamente 10 g del material, se registró el dato de peso fresco y se ingresó a la estufa a 110°C por al menos 24 horas (hasta alcanzar peso constante), posteriormente se retiró de la estufa, se pesó y registró el dato de peso seco.

Determinación de CE: Se pesó 10,00 g de A.O seco y molido y se agregó agua desionizada hasta obtener una pasta saturada. Se agitó vigorosamente por 5 minutos y se dejó en reposo por 30 minutos. Luego se filtró al vacío y se extrajo la fase líquida. Se calibró el conductímetro y se realizaron las mediciones.

Determinación de P, K, Cu, Zn: Se pesó 0,5 g de A.O seco y molido, se colocó dentro de un envase de teflón del microondas y se le agregó 10 mL de ácido nítrico concentrado. El envase se cerró herméticamente y se colocó en el rotor que fue introducido en el microondas. Para este proceso se utilizó una secuencia que incluye tres etapas con una duración de 55 min y una temperatura máxima de 200°C. Una vez terminada la digestión, el rotor se dejó enfriar, se abrió el envase y el contenido totalmente digerido se trasvasó cuantitativamente a un balón aforado de 100 ml, se llevó a volumen con agua desionizada y se agitó. Es importante que la muestra no quede con sólidos disueltos, ya que podría generar obstrucciones en el sistema de ingreso de la muestra en el ICP, por lo que se recomienda realizar un filtrado previo. Se preparó una curva de calibración para los elementos de interés y se determinó la concentración de estos elementos presentes en el extracto obtenido anteriormente por medio

del espectrofotómetro de emisión óptica ICP-Plasma. Los resultados finales se expresaron en términos de porcentaje (P, K) y mg/kg (Cu, Zn).

4.2.1.5 Preparación del instrumento para recolección de información – municipalidad

Además, para conocer sobre la perspectiva institucional del proyecto de compostaje se entrevistó al Coordinador de Saneamiento Ambiental del cantón, con el fin de conocer su experiencia tras la ejecución del programa descentralizado de compostaje de Belén, lecciones aprendidas y barreras identificadas. Se aplicó una entrevista semiestructurada con preguntas de opinión, antecedentes y conocimientos, todas las preguntas y sus respectivas respuestas se detallan en el Apéndice 9.2.

4.2.2 Trabajo de campo

4.2.2.1 Recolección de información de los hogares

El día 16 de febrero del 2022 se realizó la visita a tres hogares y el 19 de febrero se visitó otra vivienda; todas ubicadas en el distrito de La Asunción, con la finalidad de realizar la entrevista. Sin embargo, por motivos de pandemia se decidió que las restantes 28 entrevistas se realizarían vía telefónica. De esta forma, se fue recabando información sobre prácticas, roles y significados en el proceso de compostaje doméstico, así como el estado del proceso de compostaje en el cual se encontraban.

Se les comunicó a las personas participantes sobre el siguiente proceso el cual correspondía a la toma de muestra de compost y su posterior coordinación vía telefónica, una vez coordinada la contratación del laboratorio por parte de la municipalidad.

4.2.2.2 Recolección de muestras de compost de los hogares

Una vez localizadas de forma aproximada la ubicación de las viviendas con ayuda del mapa satelital, se procedió a agendar a las citas de recolección de compost con los hogares que habían completado la entrevista. Estas citas se intentaron programar bajo la línea de ruta estratégica, con el objetivo de recolectar las muestras de una misma localidad en un mismo viaje.

Ahora bien, al momento de agendar las citas para la recolección de compost, hogares que habían completado la entrevista no fue posible definir una fecha para la recolección del compost. Por lo que, se obtuvieron 22 muestras de compost, con tres muestras duplicadas distribuidas en los tres distritos. En la Figura 8 se muestra las viviendas de donde se obtuvo muestra de compost.

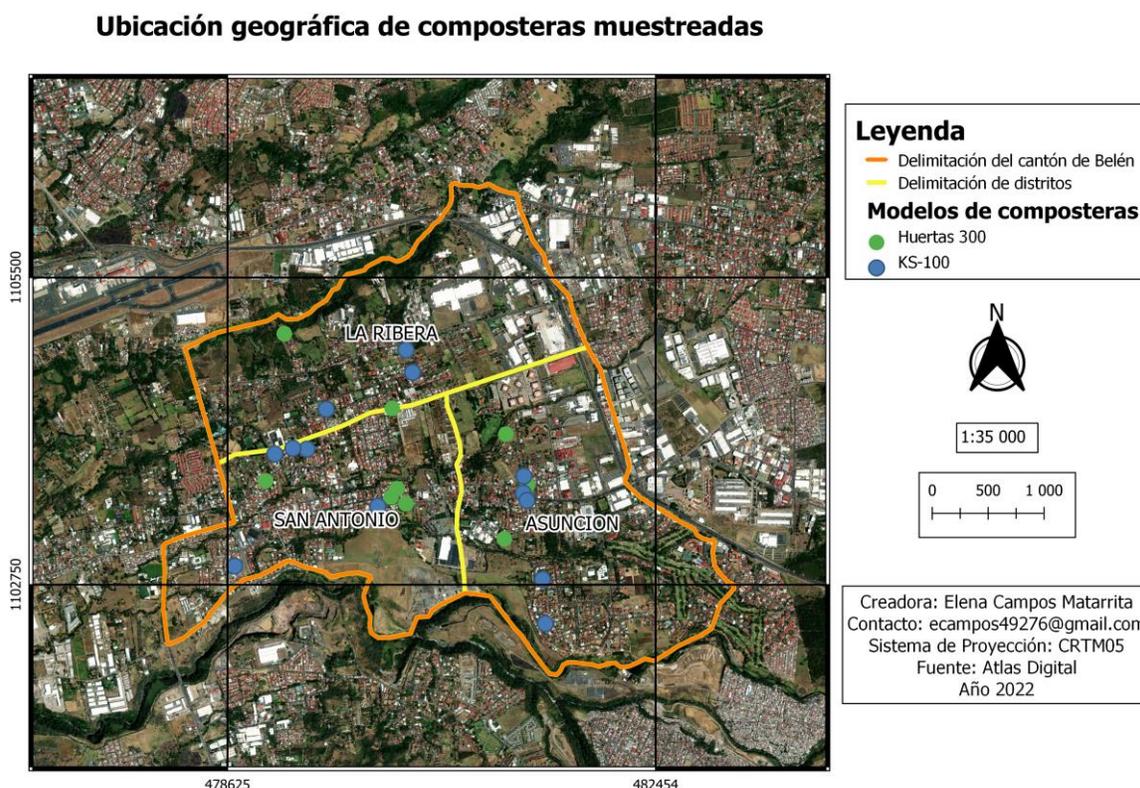


Figura 8. Ubicación geográfica de composteras muestreadas

Las visitas a las viviendas se llevaron a cabo los días el lunes 9, martes 10 y miércoles 11 de mayo del 2022. Para la recolección de las muestras se emplearon bolsas Zipplog de medio kilo con la siguiente rotulación.

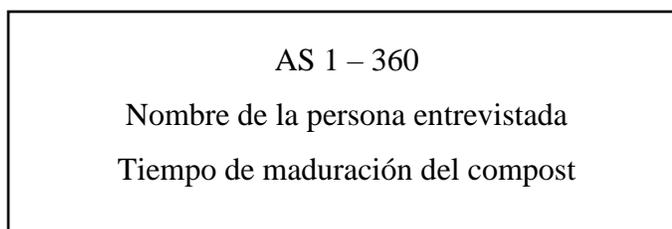


Figura 9. Ejemplo de etiquetado utilizado para identificar la muestra

Para la codificación, se empleó AS para el distrito de La Asunción, RB para el distrito de La Ribera y SA para el distrito de San Antonio. La numeración del uno al seis se utilizó según el orden en que fueron realizadas las entrevistas telefónicas y por último se indicó el modelo de compostera de la vivienda (KS-100 o HUERTA 300).

La cantidad de muestra tomada fue de medio kilo según lo indicado por varios laboratorios que trabajan este tipo de análisis químicos previa consulta. Además, durante el almacenaje de las muestras se mantuvieron las bolsas con una abertura que permitiera la aireación del compost para mantener sus propiedades biológicas. Las muestras fueron resguardadas en el hogar de la estudiante hasta que fue coordinada la entrega con el Coordinador de Saneamiento Ambiental (Figura 10).



Figura 10. Muestras de compost recolectadas y codificadas

Se entregaron en persona al Coordinador Saneamiento Ambiental en su oficina de la municipalidad y el traslado de estas hacia el Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA) de la Universidad de Costa Rica fue gestionado por su persona.

5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 ANÁLISIS CUALITATIVO DEL PROCESO DE COMPOSTAJE DOMÉSTICO

Para determinar la situación actual del cantón de Belén en cuanto al compostaje doméstico, se llevó a cabo un estudio sobre las prácticas, roles y significados que ha tenido el compostaje en las familias Belemitas. De las 32 entrevistas planteadas inicialmente, se consiguió respuesta de 26, lo que equivale a un 81% de la población. Los restantes hogares no respondieron a la entrevista por diversos problemas en el proceso de compostaje. A continuación, se describe la población y los resultados obtenidos al terminar las entrevistas.

5.1.1 Caracterización de la población

Las entrevistas fueron contestadas únicamente por una persona en cada hogar, pero dentro del instrumento se incluyeron preguntas para conocer características de los demás miembros, como la cantidad de personas que habitan la vivienda y rangos de edades de los miembros familiares. De los 26 hogares entrevistados, se determinó una población total de 106 personas involucradas en el proceso de compostaje.

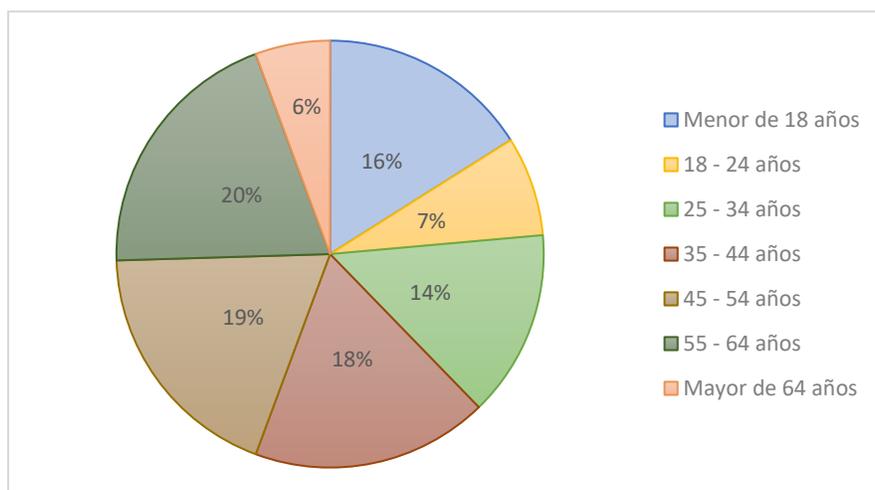


Figura 11. Distribución etaria de la población entrevistada involucrada en el proceso de compostaje en Belén de Heredia

La Figura 11 muestra a mayor detalle los diferentes rangos de edades. En cuanto a las edades de la población, se obtuvo que un 16% son menores de edad, además 21% son jóvenes entre los 18 y 34 años. Por otra parte, un 57% son personas entre 35 y 64, lo que muestra un grado

de madurez y compromiso con el ambiente de parte de todos los rangos de edad. Dicha información se recabó para tener mayor conocimiento de los grupos etarios y su involucramiento en el proceso de compostaje doméstico.

Un aspecto importante de la investigación fue medir el impacto del proyecto de compostaje doméstico municipal en la población belemita, conocer cuál ha sido el alcance en conocimientos de la práctica. Según la información de las entrevistas, cerca de un 70% de las personas usuarias de las composteras aseguraron no tener experiencia previa en el tema de compostaje doméstico. Sin embargo, mencionaron haber realizado prácticas como compostaje de manera empírica en el jardín de sus casas, mediante entierro de cáscaras de frutas y verduras en una zona común del jardín. También algunas de las personas entrevistadas llevaron cursos de agricultura orgánica y experiencia en huertas comunitarias antes de participar en el programa de compostaje doméstico de la municipalidad.

Además, se determinó que cerca de un 90% de la población entrevistada recibió la capacitación para el manejo del equipo de compostaje impartida por la municipalidad de Belén, previo al inicio de la actividad. De esta forma, las personas que recibieron la capacitación pudieron mejorar e implementar técnicas para un proceso adecuado de compostaje, por medio del análisis que se detalla a continuación se pudo comprobar dicha educación ambiental.

5.1.2 Información sobre prácticas en el proceso de compostaje

En esta sección se evaluaron aspectos técnicos, tales como el tipo de materia orgánica que se suelen añadir a la compostera las personas usuarias, los resultados se muestran graficados en la Figura 12.

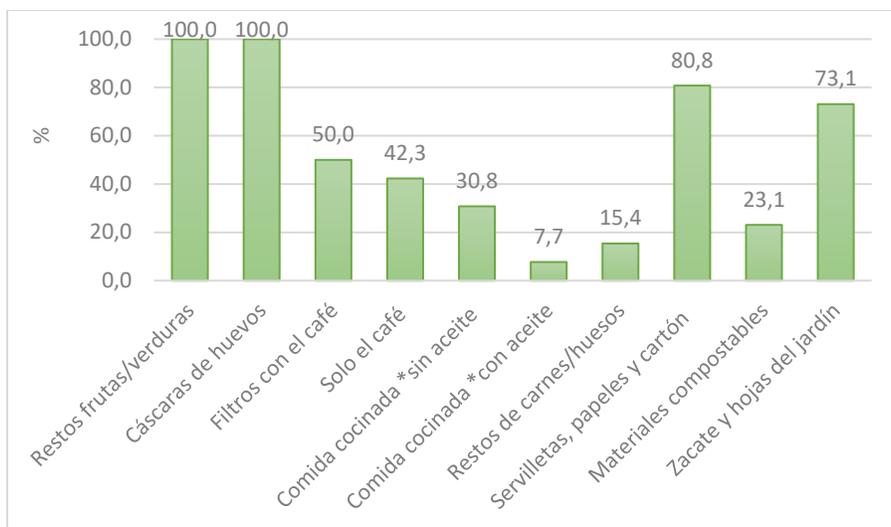


Figura 12. Tipos de los residuos añadidos a las composteras

Se determinó que en todos los hogares se utilizaron restos de cáscaras de frutas y verduras, además de cáscaras de huevos, para alimentar las composteras, siendo esta la materia orgánica de uso más común en todas las personas que participaron del estudio. Por otra parte, un 81% añadieron material como servilletas, papeles y cartones de huevos y un 73% colocaban restos de zacate y hojas del jardín dentro de la compostera, resaltando que son los materiales que más se someten a este proceso después de los restos cáscaras de frutas, verduras y huevos. Seguidamente, la mitad de la población entrevistada colocaron dentro de las composteras materiales como filtros para preparar café con los residuos de broza y cerca de un 42% solo añadió la broza del café, ya que utilizan bolsas de tela para preparar la bebida. En relación con restos de comida que fue cocinada, cerca de un 31% de los hogares entrevistados los incorporaron a la compostera, dichos restos tenían un bajo contenido de grasas, por ejemplo: frijoles, arroz, o sobras de los alimentos. Se encontró que alrededor de un 8% sí añadían restos de comida cocinada con aceite, por ejemplo: sofritos de verduras o alimentos empanizados. Un 15% de las personas afirmaron usar restos de carnes y huesos para alimentar la compostera y otros materiales como platos y vasos compostables los añaden un 23% de los entrevistados.

Parte de los propósitos de esta investigación fue estudiar la forma en que las personas añadían los residuos a la compostera. Dos procesos importantes son el secado y el picado de los restos previo a colocarlos dentro de la compostera. Como lo indica Cogger et al., (2001), técnicas

como moler, cortar, aplastar o picar las materias primas, reduce el tamaño de las partículas y mejora significativamente el proceso de compostaje. Las partículas pequeñas tienen más superficie para la actividad microbiana y son más fáciles de mezclar, por lo tanto, es una práctica ampliamente recomendada. En cuanto al secado de los residuos, se recomienda para evitar exceso de humedad dentro de la compostera. Se observó que varias familias utilizaban distintos mecanismos para secar y/o escurrir sus residuos orgánicos, entre ellos colocaban los restos de cáscaras y verduras al sol, ya sea directamente o en sacos. En otros hogares los ponían en un colador o recipiente con agujeros y los dejaban escurrir por un tiempo. En la Figura 13 se aprecia una fotografía del instrumento casero usado para el tratamiento de escurrido de las muestras para posteriormente introducirlas a la compostera. En cuanto al proceso de picado de residuos se realizaba principalmente de manera convencional con cuchillo, también se reportaron algunas personas que utilizan una machucadora.



Figura 13. Recipiente para escurrir cáscaras de frutas y verduras como parte del proceso de secado del material para la compostera

Con relación al picado de los residuos, un 85% de los hogares entrevistados afirmaron picar los residuos antes de colocarlos dentro de la compostera y un 58% de los hogares secaban sus residuos antes de colocarlos dentro de la compostera. Estos resultados denotan una buena

cultura en el proceso de compostaje doméstico del cantón, debido a que las familias realizan un pretratamiento a sus residuos orgánicos.

El tema de aireación de la materia orgánica se manejó con diferentes rangos dependiendo del modelo de la compostera. Para el modelo 360 se distinguieron dos regímenes de volteo a la compostera: el volteo diario y el volteo cada dos días. Un 80% de las personas giran la compostera diariamente y el resto lo hacen cada dos días.

Con el modelo Huerta 300 se identificaron tres principales regímenes de volteo de material con sus respectivas respuestas: cada semana (un 18%), un 18% cada dos semanas y por último cerca de un 64% cada mes. La diferencia entre modelos se debe a que la compostera KS-100 funciona bajo el mecanismo de tambor rotatorio y la compostera Huerta 300 se llena de manera vertical, creando capas y facilitando la degradación de la materia orgánica por estratos. Por esta razón, el volteo del material no es imprescindible de manera diaria.

La producción de compost también fue un aspecto evaluado, definiéndose como la conclusión del proceso y obtención de producto final ya estabilizado. Algunas características importantes son el olor, el cual por lo general se relaciona al suelo de bosque y por otra parte, una coloración café oscura o negra según Soto y Meléndez (2004).

Cabe señalar que la producción del compost varió mucho, dependiendo de la cantidad de habitantes por casa, los hábitos alimenticios de las familias y el modelo de compostera. En la Figura 14 se muestra el tiempo que tardaban diferentes porcentajes de hogares en producir el compost.

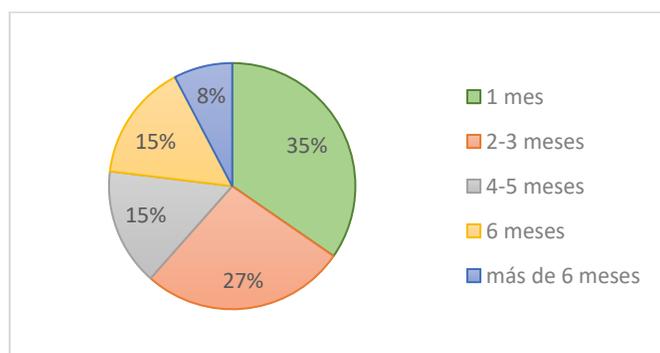


Figura 14. Tiempo de producción de compost en viviendas que participaron del estudio en el cantón de Belén

Según la información de la Figura 14 un 35% de los hogares genera compost cada mes, siendo esta la situación más recurrente, seguida de un 27% que genera cada 2 a 3 meses. Posteriormente un 15% produce compost cada 4 a 5 meses y otro 15% cada 6 meses. Por último, un 8% cosecha compost en un período mayor a seis meses.

Una característica importante de este estudio es que por motivos de la pandemia muchas familias comenzaron a hacer teletrabajo y pasaron todo el día en casa, produciendo mayor cantidad de residuos, siendo un 35% de la población entrevistada la que obtenía en menos de un mes compost para usar.

En cuanto al modelo de las composteras, fue más usual encontrar que familias con el modelo Huerta 300 tardaran más tiempo en obtener compost; se encontró que algunos hogares con pocos habitantes indicaban que este tipo de compostera era muy grande para la cantidad de residuos que generaban, estos hogares tardaron más de cuatro meses en tener lista una cantidad razonable de compost para uso, representando casi un 40% de la población participante del proceso. Esto se puede deber a que el modelo Huerta 300 tiene un mecanismo de llenado en vertical y por estratos por lo que se requiere mayor cantidad tiempo para la degradación de la materia orgánica, además de su volumen el cual es superior al de su homóloga la compostera KS-100.

Por otra parte, se encontró como tendencia que las viviendas con el modelo de compostera 360, duraban menor tiempo en obtener compost, aproximadamente entre uno a tres meses. Esto se debe principalmente a que es un modelo de compostera con menor volumen que la Huerta 300, por lo que en menor tiempo se obtiene mayor cantidad de compost.

La cantidad de compost producida varía primero por el modelo de compostera y segundo por la cantidad de habitantes y consumo de alimentos de una vivienda. A continuación, se presenta un cálculo estimado de la cantidad de compost producido por las familias, ya que en el momento que se realizó la presente investigación todas las viviendas se encontraban en fases del proceso de compostaje distintas, por lo que no fue posible iniciar desde cero el llenado de la compostera para toda la muestra estudiada.

Para el caso de la compostera tómbola 360, se sabe que el volumen total de la compostera es de 160 L, es decir 80 L por cámara, ya que este modelo cuenta con dos cámaras de llenado. Por lo tanto, basado en el valor de densidad de un compost maduro reportado por la FAO en Román, et al., (2015) de 600 kg/m^3 , se obtiene un valor aproximado de 48 kg de compost por cámara si se llena al tope considerando el valor teórico del volumen de la compostera. Este cálculo también se puede corroborar a partir de la capacidad máxima por semana indicada por la empresa 360 la cual es de 10 kg por semana. Según las respuestas obtenidas de las entrevistas, las personas con compostera modelo 360 suelen obtener compost en un período de un mes a tres meses. Considerando una alimentación semanal de 10 kg de residuos, al mes se estarían generando 40 kg de compost y por lo tanto alcanzando aproximadamente el volumen teórico de la compostera.

Para el caso de las composteras Huerta 300, el proceso es distinto ya que la colecta del compost se realiza en la base del aparato y esta se lleva a cabo cuando el material tiene un aspecto negro o café oscuro y homogéneo en comparación con los estratos superiores. Por lo que la cantidad de este compost varía mucho de un hogar a otro, ya que esta franja inferior de compost maduro es muy distinta en los diferentes hogares, lo cual se pudo constatar con las visitas de campo para la toma de compost.

Además, es importante considerar otros aspectos que influyen en el cálculo de cantidad de compost, como la evaporación de humedad y la lixiviación de material. Estos son dos fenómenos que dependen de otros procesos de pretratamiento a los residuos orgánicos, como el secado o escurrido. Estas acciones afectan la cantidad de humedad de los residuos y por lo tanto la cantidad de lixiviados que se generarán. Asimismo, se debe contemplar la temperatura ambiental que incide en la evaporación de la humedad en la compostera.

Al mismo tiempo, se preguntó a las personas entrevistadas por la ubicación de las composteras en sus viviendas, ya que dependiendo de dichas condiciones es necesario realizar el compostaje bajo techo. También es importante contar con espacio con suficiente ventilación debido a que el compostaje es un proceso desarrollado típicamente por

microorganismos de metabolismo aeróbico. Por esta razón es imprescindible permitir el acceso de oxígeno libre a todas las partes del material en tratamiento, de modo que se facilite la proliferación y actividad de tales microorganismos (Márquez et al., 2008). Posteriormente, habiendo homogenizado y favorecido la aireación del material y la disponibilidad de oxígeno y de agua, la temperatura vuelve rápidamente a subir y por lo tanto la degradación de la materia (Storino, 2017).

Se obtuvo que la totalidad de los hogares tienen la compostera en un espacio con suficiente ventilación, un 61,5% la tienen bajo techo y un 38,5% de viviendas colocaron la compostera en la intemperie. Un dato importante es que todas las composteras modelo Huerta 300 fueron colocadas en espacios abiertos sin que se deteriorara o dañara el contenido, ya que son diseñadas para estas condiciones.

5.1.3 Información sobre problemas en el proceso de compostaje

Al compostar las personas usuarias pueden presentar dificultades de distinto índole, entre ellos Tucker et al., (2003) señalan la aparición de moscas, insectos y malos olores. Otros aspectos, son la aparición de lixiviados como consecuencia de un mal manejo de la humedad. A partir de estos escenarios se obtuvieron los resultados resumidos en la Figura 15, en donde se aprecia que cerca de un 15% de las personas entrevistadas afirmaron haber experimentado malos olores en algún momento del proceso de compostaje. Un 42% de los hogares han tenido exceso de lixiviados, sin embargo, varias de las respuestas indicaban haber tenido este problema principalmente durante la época lluviosa del año.

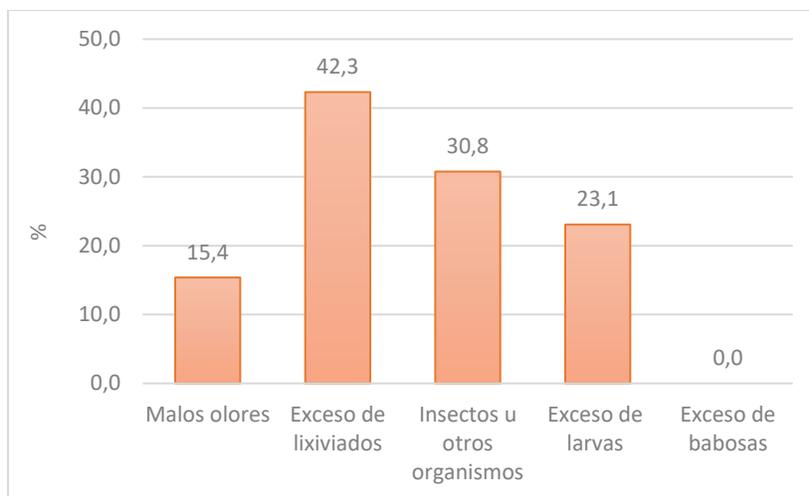


Figura 15. Problemas experimentados por las personas entrevistadas usuarias de composteras en el cantón de Belén

Un 31% de hogares reportaron aparición de insectos de manera problemática, así como un 23% tuvieron exceso de larvas, del tipo de mosca soldado (*hermetia illucens*) (Figura 16). En cuanto a la categoría de insectos u otros organismos se encontraron respuestas como, gusanos (sin especificar el tipo), cucarachas, hormigas y hongos. Asimismo, algunas respuestas obtenidas no contempladas como opciones en el formulario por algunas de las personas entrevistadas fueron presencia de ratones y visitas de zarigüeyas.



Figura 16. Larva de mosca soldado (*hermetia illucens*)

A pesar de que las personas consideraron en algún punto estas situaciones como una problemática, en su totalidad supieron darles solución a las dificultades, de manera que fueron fases transitorias. Para ello, trabajaron combatieron el exceso de humedad añadiendo

mayor cantidad de material secantes como pellets u hojas secas del jardín, también mencionaron incrementar la frecuencia de volteo para contrarrestar los malos olores.

No obstante, en las entrevistas se mencionó en reiteradas ocasiones, que como personas usuarias les hubiera gustado recibir más información antes de comenzar con el proceso de compostaje sobre estos inconvenientes, ya que en su gran mayoría los tomó por sorpresa. De saberlo con anterioridad hubieran tenido un panorama más amplio y claro de las posibles dificultades, para poder prevenirlas en la medida de lo posible. También relacionado a cómo prevenir estas problemáticas, a la población le gustaría tener mayor información sobre qué residuos agregar a la compostera y cuales no, así como conocer más sobre los regímenes de temperatura de la compostera y su implicación en el proceso.

5.1.4 Roles y significados en el proceso de compostaje

Para conocer sobre los roles de la población en el tema de compostaje doméstico se realizó la pregunta de “¿quiénes dentro del hogar tienen una participación activa en el proceso de compostaje?” con la finalidad de abarcar el tema de género en esta práctica y ver si se encontraban patrones entre los usuarios de las composteras.

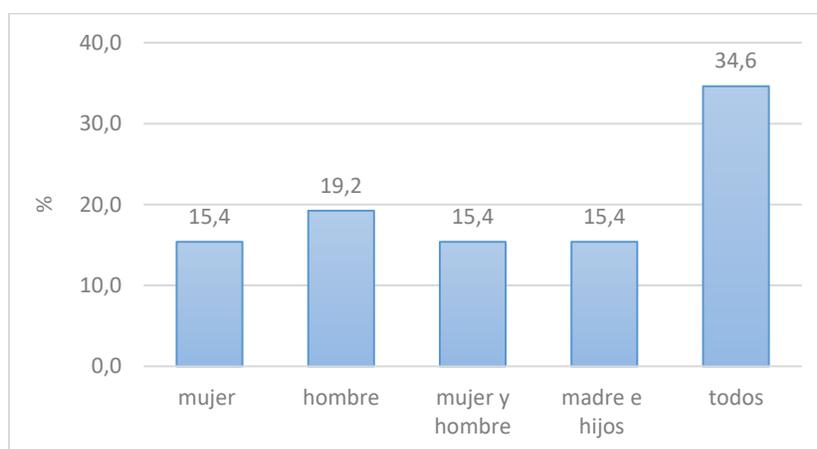


Figura 17. Participación de las personas entrevistadas en el proceso de compostaje en el cantón de Belén

Como muestra la Figura 17, el porcentaje de participación con mayor respuesta en las familias entrevistadas fue que todos los miembros del hogar casi un 35% participaron del

proceso de compostaje, seguidamente la participación masculina como principal actor en el procedimiento tuvo un resultado de 19%. Las opciones de solo la mujer, la mujer e hijos y la opción de hombre y mujer, siendo esta última exclusiva para adultos sin contemplar a menores de edad, todas tuvieron un mismo porcentaje de respuestas según se aprecia en la Figura 17.

De estos resultados destaca que la educación hacia el compostaje ha sido inculcada, en mayor porcentaje, por todos los miembros de los hogares. Además, también sobresalió el deseo de las familias por enseñar desde edades tempranas a sus hijos los beneficios del compostaje y crear el hábito en ellos del buen manejo de residuos orgánicos.

Partiendo del punto anterior de la educación ambiental, este fue un factor que predominó en todas las entrevistas realizadas, ya que se les preguntó de manera abierta por qué razones habían decidido ser parte del programa y en las respuestas se mostró un alto grado de compromiso y conciencia ambiental. Se reportaron respuestas como querer ayudar al ambiente, la reducción de bolsas de basura ordinarias, así como sus malos olores, la generación de gusanos y la problemática de animales callejeros rompiendo las bolsas a las afueras de sus casas. Otro punto mencionado por las personas fue el aporte del compost a sus jardines y plantas, el cual es un abono propio por el cual no deben pagar, sino que ya es un insumo derivado de la práctica.

Asimismo, varias personas mencionaron haber desarrollado sensibilidad en sus hábitos de consumo, ser más conscientes de los empaques y materiales que van a la basura y cuáles se pueden retornar a la tierra, así como la dieta y alimentos que se están consumiendo en la casa. También que compostar es una práctica positiva para la salud mental, indicaron que es una actividad relajante y hasta un pasatiempo para varios de ellos. Se mencionó que hay un sentimiento de confianza hacia la calidad de abono que producen algunas de estas personas y que les da seguridad añadirlo a sus hortalizas y vegetales del jardín pues saben de donde proviene y cómo fue su producción.

Por otra parte, en cuanto al aprendizaje que han tenido en el proceso, se señalaron aspectos como la importancia de la práctica, y que todos deberían implementarla en sus hogares para reducir el volumen de residuos que llegan a los rellenos sanitarios y para apoyar al municipio en disminuir la recolección de residuos ordinarios. Otras personas contestaron haber cambiado su forma de ver los residuos y como ahora la valorización de estos se volvió parte de la cultura en el hogar. De igual forma, al tener un nuevo hábito en sus hogares también han aprendido del tiempo y dedicación que requiere el proceso, además aprecian más la transformación de los materiales que han descrito como “mágica”.

Añadiendo, personas usuarias indicaron que no contar con un patio o jardín no debería ser una limitante para tener una compostera en casa, ya que el beneficio que le generan al planeta al valorizar sus residuos orgánicos es muy grande.

5.1.5 Usos del compost por las personas entrevistadas del cantón de Belén

Es importante señalar que del total de entrevistas realizadas cinco viviendas (equivalente a casi un 20% de la población) reportaron haber tenido dificultades sobre cómo o en qué usar el compost producido, al punto que lo han considerado una sobreproducción. En estos casos uno de los entrevistados señaló que cuando no sabe qué hacer con el compost lo enterraba.

No obstante, en un 80% de los hogares le dan uso ya sea en sus jardines para abonar las plantas, huertas caseras y zacate, lo regalan a sus familiares o amistades, lo venden, lo utilizan en viveros y para abonar propiedades propias y también en huertas y parque comunitarios.

5.2 PERSPECTIVA INSTITUCIONAL DEL PROGRAMA DE COMPOSTAJE DOMÉSTICO

En esta sección se analizó parte de las respuestas brindadas por el Coordinador de Saneamiento de la municipalidad de Belén, específicamente en el tema de lecciones aprendidas y barreras identificadas con la implementación del programa. Las respuestas proporcionadas por la persona se encuentran en el apéndice 1.2.

Parte de las acciones pendientes por parte de la municipalidad de Belén y que es parte del trabajo futuro es la identificación y ubicación de los compostadores que ya ejecutan esta práctica desde su propia iniciativa, ya que por el momento solo se cuenta con registro de los hogares que compostan gracias al programa implementado por el gobierno local. Añadiendo a la data recopilada en el trabajo de campo, también se observó que dentro de la base de datos de familias composteras, que si bien existe un tiempo establecido por la municipalidad en el cual la compostera sigue siendo un activo institucional y hay seguimiento por parte de la institución para verificar el compromiso a la actividad, transcurrido ese tiempo hubo personas que dejaron de compostar o de utilizar la compostera y se perdió el objetivo inicial del programa. Aproximadamente, de la base de datos facilitada por la institución, de las 50 personas seleccionadas inicialmente para ser contactadas vía telefónica, se halló que nueve viviendas dejaron de utilizar la compostera, o se mudaron del cantón de Belén y por lo tanto no podían participar del presente estudio. Esto se pudo constatar al contactarlas mediante vía telefónica con el objetivo de realizar la entrevista.

Desde el punto de vista de estrategia para la implementación del programa, la municipalidad tomó los aciertos y desaciertos de otros gobiernos locales de forma que logró tener una recepción muy positiva en la comunidad. Esto se observó en las entrevistas realizadas a las personas participantes del programa, quienes se identifican con la causa ambiental del compostaje y que además desean transmitir de forma generacional a sus hijos(as), además de otros aspectos valiosos como la generación de su propio alimento para las plantas, entretenimiento, embellecimiento de su comunidad al no tener que lidiar con el destrozo de bolsas de basura por animales callejeros, así como un entendimiento empírico de la economía circular de los residuos orgánicos.

5.2.1 Ahorros económicos y gases de efecto invernadero (GEI) evitados

Puntos importantes para considerar son las reducciones en cantidad de residuos ordinarios enviados a rellenos sanitarios, las cuales para el año 2021 fueron 320 toneladas. Esta cantidad de residuos se vio reflejado en un ahorro en el gasto de tratamiento de residuos sólidos equivalente a ¢10.800.000 para una población de aproximadamente 400 composteras distribuidas en el cantón, según el dato informado por el Coordinador de Saneamiento Ambiental.

Además, empleando el factor de emisión del Instituto Meteorológico Nacional (2022) correspondiente para residuos sólidos en rellenos sanitarios, cuyo valor es 0,0519 kg CH₄/kg de residuos y el potencial de calentamiento global del metano obtenemos el siguiente resultado:

$$kg \text{ de } CH_4 = 320\,000 \text{ kg residuos} * \frac{0,0519 \text{ kg } CH_4}{kg \text{ residuos}} = 16\,608 \text{ kg } CH_4$$
$$kg \text{ de } CO_2 = 16\,608 \text{ kg } CH_4 * \frac{21 \text{ kg de } CO_2}{1 \text{ kg } CH_4} = 348\,768 \text{ kg } CO_2 = 348,768 \text{ ton } CO_2$$

De esta forma se puede apreciar el impacto tanto económico y ambiental que ha tenido el programa de compostaje doméstico de la municipalidad de Belén, el cual se espera incrementar aún más al hacer partícipe a más familias en próximas convocatorias.

5.3 ANÁLISIS CUANTITATIVO DEL COMPOST DOMÉSTICO BELEMITA

5.3.1 Análisis químico del compost doméstico

5.3.1.1 Valores óptimos para abonos orgánicos

Para esta sección se aborda el concepto de calidad de abono orgánico, el cual según varios autores (Soto y Meléndez, 2004), (Ansorena et al., 2014), (Onwosi et al., 2017) varía de los usos que se le quieran dar a dicho material, además se señala que el concepto no puede evaluarse basándose en un solo parámetro. Lazcano et al., citado en Onwosi et al., (2017) también explicaron que los valores umbral de la enmienda orgánica pueden no ser adecuados para todos los tipos de compost, debido a las diferencias en los residuos madre y en la materia prima, así como en los procedimientos de compostaje donde se originaron. No obstante, existen variables comúnmente utilizadas para determinar la calidad de los abonos, así como los rangos que hasta la fecha se han considerado óptimos (Soto y Meléndez, 2004).

El Cuadro 5, muestra los valores óptimos reportados por literatura para los principales parámetros a considerar al analizar características químicas en abonos orgánicos.

Cuadro 5. Valores óptimos para abonos orgánicos reportados en literatura

Parámetro	Unidades	Valor	Tomado de
N	% masa	> 2	Paul y Clark, citado en Soto y Meléndez, (2004)
P	% masa	0.15 – 1.5	Paul y Clark, citado en Soto y Meléndez, (2004)
K	% masa	>1	Martinez y Araque, (2017)
Cu	mg/kg	70 - 600	Paul y Clark, citado en Soto y Meléndez, (2004)
Zn	mg/kg	210 - 4000	Paul y Clark, citado en Soto y Meléndez, (2004)
C	% masa	>15%	Martinez y Araque, (2017)
CE	mS/cm	4 mS/cm	Onwosi et al., (2017)
C : N	-	< 20	Azim et al., (2017) Soto y Meléndez, (2004)
Humedad	%	< 40	Soto y Meléndez, (2004)
pH	-	7 – 9	Azim et al., (2017)

5.3.1.2 Análisis de resultados obtenidos en pruebas de laboratorio

A continuación, en los Cuadros 6 y 7 se presentan los resultados de las pruebas químicas de 25 muestras analizadas. En el muestreo se obtuvieron 22 muestras, dos de ellas se tomaron la muestra por duplicado y una muestra adicional fue aportada por la municipalidad de Belén.

Cuadro 6. Resultados de laboratorio para parámetros químicos

# muestra	% de HUM	pH	CE (mS/cm)	Relación C/N	% masa C	% masa N
1	69	8,9	4,3	28,13	15,2	1,85
2	68	9,7	5,6	26,58	13,3	2,00
3	73	9,7	10,2	33,71	12,8	2,63
4	79	9,6	9,4	31,88	15,4	2,58
5	27	8,1	2,9	19,58	12,4	1,58
6	72	9,7	7,4	33,45	18,9	1,77
7	59	9,9	16,4	21,01	11,3	1,85
8	76	9,7	10,8	37,41	17,5	2,14
9	78	9,9	12,2	35,40	16,1	2,20
10	66	10,3	12,0	39,60	17,3	3,23
11	61	9,0	5,2	19,65	15,5	1,71
12	74	9,8	9,0	40,39	16,0	2,53
13	60	8,5	7,7	33,29	12,8	2,60
14	52	7,5	6,0	41,40	17,1	2,42
15	56	7,5	5,5	39,54	18,0	2,20
16	65	9,4	12,0	37,30	17,6	2,12
17	62	10,5	16,6	41,86	30,0	1,40
18	67	10,2	12,4	27,59	13,1	2,10
19	31	7,7	5,5	20,01	15,5	1,34
20	48	8,6	3,7	42,96	17,4	2,47
21	78	9,3	14,0	27,88	13,9	2,00
22	52	8,4	7,0	31,58	13,4	2,36
23	88	9,4	5,6	44,74	28,7	1,56
24	61	8,9	10,3	15,82	12,7	1,25
25	76	8,9	2,4	43,95	26,5	1,66

Cuadro 7. Resultados de laboratorio para parámetros químicos (continuación)

# muestra	% masa		mg/kg	
	P	K	Cu	Zn
1	0,32	1,12	35	103
2	0,45	0,76	30	180
3	0,37	2,44	54	201
4	0,35	2,06	36	158
5	0,28	0,92	124	1009
6	0,29	2,10	37	72
7	0,42	2,80	70	150
8	0,35	2,93	24	77
9	0,48	1,98	15	48
10	0,50	4,37	26	78
11	0,56	1,16	54	132
12	0,44	2,47	28	76
13	0,32	1,80	38	218
14	0,16	1,00	18	48
15	0,16	0,98	18	47
16	0,32	2,99	16	68
17	1,10	3,48	98	122
18	0,44	2,06	18	54
19	0,30	0,76	83	186
20	0,22	1,86	22	55
21	0,38	2,69	46	116
22	0,33	1,90	48	130
23	0,22	1,82	12	36
24	0,32	1,88	102	124
25	0,19	0,86	12	42

5.3.1.2.1 Humedad

La selección de la mejor humedad para comercializar un producto es un balance de criterios entre la humedad mínima que favorezca la actividad microbiana y reducir los costos de transporte de materiales muy húmedos. En general, se considera que los abonos orgánicos con un 40% presentan un buen balance entre estos dos factores (Soto y Meléndez, 2004).

Partiendo del valor óptimo expresado por (Soto y Meléndez, 2004) destaca que las muestras analizadas, un 92% (23 muestras) presentan un contenido de humedad superior al 40% (Cuadro 6). Su valor de media es de 63,92% con una desviación estándar de 14,30%, confirmando una alta variación en los porcentajes de humedad, así como un promedio lejano del valor óptimo.

Este fue un resultado interesante de analizar, ya que un parámetro relacionado a este aspecto es la aireación. Según Petric y Selimbasi, citados en (Onwosi et al., 2017), la aireación proporciona suficiente oxígeno para la oxidación de la materia orgánica y evapora el exceso de humedad del sustrato.

Los resultados obtenidos en las entrevistas demuestran que en el caso del modelo de composteras 360, el 80% de los hogares entrevistados realizan una rotación de la tómbola diaria, por lo que se podría esperar un resultado diferente en este sentido. No obstante, en la pregunta de secar sus residuos previos a introducirlos a la compostera, un 42% de las viviendas no llevan a cabo este pretratamiento, por lo que se asume que este factor pudo haber sido influyente en el porcentaje de humedad de las muestras.

Además, otro aspecto que pudo haber afectado el porcentaje de humedad en las muestras fue la proporción de material secante que suelen añadir las personas a sus composteras. Por lo general, los materiales utilizados para el compostaje son fácilmente degradables y tienen propiedades nutricionales y fertilizantes; por lo tanto, siempre se deben añadir materiales menos comprimibles con funciones estructurantes beneficiosas (denominados agentes de carga, como pajas, astillas de madera, serrín, etc.) para lograr un proceso de compostaje eficiente. Estos materiales pueden ayudar a ajustar el contenido óptimo de humedad, así como

dar suficiente porosidad a la masa y asegurar el paso de oxígeno dentro del material para la actividad microbiana (Bruni et al., 2020). De manera, que es un factor que se debe considerar si se busca mejorar la calidad del compost producido en el cantón.

Por otra parte, como se ha mencionado anteriormente, los valores óptimos pueden variar en la literatura. Román et al., (2015), exponen que el valor ideal para compost en términos de humedad puede estar entre 40 – 60%. En ese caso, haciendo una variación en el límite superior la conclusión sería que un mayor porcentaje de muestras estudiadas caben dentro del rango aceptable. No obstante, para esta investigación se tomó como rango máximo el 40% de humedad ya que es un valor que se aplica en la comercialización de abonos en el país (Soto y Meléndez, 2004).

5.3.1.2.2 pH

En el caso del parámetro pH, los niveles de pH ácidos son característicos del compost inmaduro mientras que los compost maduros tienen un pH entre 7 y 9. En el período de maduración o fase estable, el compost debe encontrarse cerca del pH neutro. Esta estabilidad se debe a las reacciones lentas y a la influencia del buffer de humus (Azim et al., 2017).

Respecto al pH, los resultados obtenidos se detallan en el Cuadro 6. Si bien, se categorizó según el parámetro definido por (Azim et al., 2017) de un pH entre 7 y 9, los resultados todos se encuentran en un rango bastante cercano, con un promedio de 9,16 y una desviación estándar de 0,85. Donde el valor inferior de pH fue de 7,5 estando dentro del rango considerado como óptimo y el valor superior fue de 10,5.

Además, según los resultados mostrados en el Cuadro 6, un 56% de las muestras presentaron un pH superior a 9, pero como se indicó fueron valores cercanos a esta cifra. También tal y como lo señala la literatura, es común encontrar una elevación de los niveles de pH en las últimas etapas del compostaje (Onwosi et al., 2017), por lo que los resultados que presentaron las muestras se encuentran dentro de la variabilidad esperada. Asimismo, esta variación puede atribuirse a la existencia de diferentes grupos microbianos a diferentes combinaciones

de temperatura (Onwosi et al., 2017), por lo que múltiples factores pueden influir en los resultados finales de pH de las muestras.

5.3.1.2.3 Conductividad eléctrica (CE)

La conductividad eléctrica (CE) indica el contenido total de sales del compost y refleja la calidad de este para ser utilizado como fertilizante. Según Huang et al., citado en Onwosi et al., (2017) durante el proceso de compostaje, la CE podría aumentar debido a la formación de sales minerales como los iones de amonio y los fosfatos a través de la transformación de la materia orgánica. Existen múltiples opiniones de autores citados en Onwosi et al., (2017) sobre cuál debe ser el límite máximo para la CE al momento de aplicación en los suelos, no obstante, para la presente investigación se partió del valor mayor de 4 mS/cm como valor límite para aplicar el compost en suelos, considerando que la materia prima del compost estudiado proviene de residuos de hogares que incluyen la preparación de platillos y por lo tanto contienen sal.

Para favorecer el crecimiento de las plantas, el valor de la conductividad eléctrica (CE) del compost maduro debe ser muy bajo, con valores máximos de 3 – 2 mS/cm si el abono orgánico se quiere utilizar como enmienda en el suelo (Onwosi et al., 2017). No obstante, dado que las muestras estudiadas provienen de residuos orgánicos domiciliarios se tomó como valor máximo 4 mS/cm reportado de igual forma como valor aceptable en Onwosi et al., (2017). Partiendo de ello, solo tres de las 25 muestras cumplieron con una conductividad eléctrica menor a 4 mS/cm (Cuadro 6). Además, se reportó una media de 8,56 mS/cm, con una desviación estándar de 4,03 mS/cm. Esto demuestra como los valores de CE se encuentran superiores en promedio al valor recomendado por la literatura.

Por otra parte, según las entrevistas realizadas, solo un 31% de los hogares entrevistados reportaron introducir a su compostera restos de alimentos cocinados, por lo que el porcentaje de sales que se muestran en los análisis de laboratorio deben provenir de otros residuos o por otras causas.

Una posible explicación a estos resultados es que la conductividad es alta en abonos, debido a que en el proceso de degradación de la materia orgánica hay liberación de moléculas orgánicas de bajo peso, que normalmente están cargadas, como el ácido acético, propiónico y butírico. Además, según Quinchía y Carmona, (citados en Díaz et al., 2020), en un proceso de compostaje la conductividad eléctrica se incrementa y evidencia la mineralización de la materia orgánica. Por lo que los resultados obtenidos pueden estar obedeciendo a esta tendencia.

También resultó muy variado el tema de los residuos que se introducen a la compostera, ya que hogares que reportaron no introducir comida cocinada presentaron valores de CE altos, alrededor del 16 mS/cm, y familias que lo afirmaron también tuvieron un valor de CE elevado.

5.3.1.2.4 Relación carbono-nitrógeno

La relación C/N (carbono orgánico-nitrógeno orgánico) disminuye durante el compostaje. Este parámetro se mide habitualmente para evaluar la madurez del compost. Iglesias-Jiménez y Pérez-García, citado en Azim et al., (2017) estiman que una relación inferior a 20 e incluso a 15 caracteriza a los compost maduros.

Como se muestra en el Cuadro 6, del total de las muestras 22 de ellas (85%) se encuentran dentro del rango considerado como óptimo (< 20) para la relación de carbono-nitrógeno (Azim et al., (2017), Soto y Meléndez, (2004). La relación carbono-nitrógeno (C/N) es uno de los parámetros más empleados para medir la calidad de compost. Por los resultados obtenidos, una media de 18,36 y una desviación estándar de 8,56; se puede afirmar que las muestras presentan valores óptimos para la liberación de nutrimentos, tal y como lo indican (Castro et al., 2009). Además, la relación adecuada entre C/N favorecerá un buen crecimiento y reproducción en la planta (Martínez y Araque, 2017), por lo que en ese sentido el abono producido por los vecinos Belemitas cumple para dicho propósito.

5.3.1.2.5 Contenido de carbono

Para el análisis de este elemento se tomó como referencia el valor óptimo reportado por (Martínez y Araque, 2017), como mínimo de 15% masa según la Norma Técnica Colombiana NTC 5167. Todas las muestras analizadas cumplen con este parámetro (Cuadro 6), y se obtuvo una media de 16,26% y una desviación estándar de 5,11%

5.3.1.2.6 Contenido de nitrógeno

El valor reportado por literatura Paul y Clark, citado en Soto y Meléndez, (2004) indica que se espera sea mayor al 2% masa. Soto y Meléndez (2004) detallan que, con respecto al nitrógeno, este es un elemento frecuentemente utilizado como indicador de la calidad nutricional del abono, en Costa Rica se han ido estableciendo rangos de contenidos esperados por proceso y por materia prima. Por ejemplo, los residuos verdes caseros dan contenidos que van del 0,8 al 1,2% de nitrógeno, la pulpa o broza de café varían en rangos de 1,2 a 3,5%, mientras que la pulpa de banano o la pulpa de naranja dan rangos por debajo del 1,5%, por lo que no existe un único valor esperado para dicho elemento. En el caso de las muestras analizadas del cantón de Belén, un 40% obtuvieron un porcentaje de nitrógeno inferior al 2%, no obstante, esto no es indicativo que no tengan un porcentaje de dicho elemento apropiado, ya que como se señaló el porcentaje varía según tipos de residuos.

Por otra parte, los valores obtenidos (Cuadro 6) todos rondan el 2% establecido por la literatura, con un promedio de 2,06% y una desviación estándar de 0,48%; siendo 1,25% el valor más bajo y 3,23% el valor más alto de las muestras analizadas. En cuanto los tiempos de maduración de las muestras no se encontró ningún patrón sobresaliente en los resultados.

En el caso de los regímenes de volteo relacionados a la aireación del compost, se sabe que la aireación permite una absorción de nitrógeno y otros elementos biogénicos como nutrientes necesarios para crecimiento microbiano, la reproducción y las reacciones metabólicas (Onwosi et al., 2017). Sin embargo, existe evidencia científica de que, si bien parte del nitrógeno se reincorpora al metabolismo microbiano, otra parte se incorpora a la materia

orgánica del compost en su humificación, y otra parte se libera en forma de matriz de nitrógeno inorgánico (Azim et al., 2017).

También como lo señalan Azim et al., (2017) al final del compostaje, el proceso de mineralización pasa a ser predominante, observándose frecuentemente un aumento del contenido de nitratos. Por lo tanto, un aumento de la concentración de nitrógeno total se observa generalmente en el compost madurado. Sin embargo, es posible que se produzcan pérdidas de nitrógeno, bien por lixiviación de nitratos en el caso de pilas de compost no protegidas en época de lluvias, o por volatilización de amoníaco (NH_3) y óxido nitroso (N_2O). De esta forma, los resultados obtenidos respecto a este elemento son aceptables según los rangos establecidos por la literatura.

5.3.1.2.7 Contenido de fósforo

El fósforo es uno de los diecinueve elementos considerados como esenciales para la vida de las plantas y a diferencia de otros elementos, como el carbono que puede ser tomado por las plantas de suelo y aire, el hidrógeno del agua, o el azufre que es aportado al suelo gracias a las lluvias; el fósforo disponible en el suelo es insuficiente para los vegetales, y esta deficiencia sólo se puede paliar con la aplicación de fertilizantes fosforados (Fernández, 2007). Para este elemento, se observó que todas las muestras analizadas se encuentran dentro de los parámetros de 0,15 – 1,5 % m/m, establecidos por Paul y Clark, citado en Soto y Meléndez, (2004) (Cuadro 7). De las muestras se obtuvo un valor promedio de 0,37% y una desviación estándar de 0,18%.

Este resultado se puede complementar con los valores obtenidos de % de nitrógeno, ya que, con los resultados obtenidos de porcentaje de nitrógeno, según Fernández (2007) dicho elemento juega un papel crítico en la asimilación del fósforo, induciendo un incremento en la absorción de éste por parte de la planta. De manera que, con un porcentaje de nitrógeno y fósforo óptimo, habrá mayor facilidad en la absorción por parte de las plantas. Lo cual resulta muy positivo, ya que el uso principal que las familias belemitas dan a su compost es sus jardines y patios.

5.3.1.2.8 Contenido de potasio

El potasio es un elemento esencial para el crecimiento, desarrollo y sostenimiento de las plantas y que por lo general, las tierras agrícolas lo contienen entre 0,01% y 0,03% (Martínez y Araque, 2017). Por otra parte, el potasio mejora el régimen hídrico de la planta y aumenta su tolerancia a la sequía, heladas y salinidad. Las plantas bien provistas con este elemento sufren menos de enfermedades (Román et al., 2015).

Para el caso de abonos orgánicos, según la Normatividad Nacional Española del Real Decreto 506 del 2013 “sobre productos fertilizantes” el valor recomendado como óptimo para este elemento es que sea mayor a 1% masa en abonos orgánicos fertilizantes (Martínez y Araque, 2017). Los resultados obtenidos (Cuadro 7) muestran que un 80% de las muestras analizadas cumplen con presentar un porcentaje de potasio mayor a 1% masa y las que no lo cumplen sus valores son bastantes cercanos a 1, por ejemplo: 0,98; 0,92; 0,76 y 0,86% masa. Esto se confirma con su valor promedio de 1,97% y una desviación estándar de 0,92%.

5.3.1.2.9 Contenido de cobre

Todas las muestras analizadas presentan una concentración menor a 70 mg/kg (Cuadro 7), de las cuales se obtuvo un promedio de 42,56 mg/kg y una desviación estándar de 30,71 mg/kg. Esto además concuerda con el tipo de residuos de materia prima para la generación de este compost, ya que son residuos domésticos bajos en contenidos de metales pesados. Esto se refleja en el valor más alto es de 124 mg/kg, que es bastante bajo al rango superior de 600 mg/kg establecido por la Unión Europea en abonos orgánicos. El exceso de este elemento es tóxico para las plantas (Huaman y Cely, 2020), por lo que el compost estudiado puede ser utilizado en las plantas, jardines y huertas, aportando una cantidad adecuada de cobre al suelo, sin ningún problema.

5.3.1.2.10 Contenido de zinc

En este caso, todas las muestras presentaron valores de zinc (Cuadro 7) inferiores al límite máximo establecido por la Unión Europea para abonos orgánicos, el cual se especifica en un valor de 4000 mg/kg. Esto significa que el compost puede emplearse en suelos ya que el zinc es un elemento que en exceso provoca toxicidad (Huaman y Cely, 2020). El valor promedio es de 141,2 mg/kg con una desviación estándar de 188,65 mg/kg.

No obstante, los valores también son menores al rango inferior de la UE (Cuadro 5), y según García et al., (2008) el zinc es un elemento esencial para el crecimiento, desarrollo y reproducción de las plantas, animales y humanos, que lo precisan en pequeñas cantidades. Por ello, se le denomina elemento traza esencial, microelemento o micronutriente. La deficiencia de zinc es el más extendido de todos los problemas de deficiencia de micronutrientes en los cultivos. Provoca pérdida de rendimiento y daños en los productos, disminuyendo la calidad de los mismo. De manera que, al analizar los valores de las muestras, ninguna alcanza el valor mínimo de 210 mg/kg establecido por UE por lo que se podría concluir que el compost sí es apto para jardinería, pero no es óptimo si se quiere enriquecer el suelo para cultivos en agricultura a gran escala. Por supuesto, añadir este abono a una huerta aporta mayores beneficios al suelo que no hacerlo, ya que como se comentó no sobrepasa el rango superior de la UE.

Adicionalmente, se realizaron pruebas de laboratorio para determinar los valores de los elementos calcio, magnesio, azufre, hierro, manganeso y boro, sin embargo, no se encontraron valores en la literatura para realizar una comparación cuantitativa y así determinar su relación con la calidad del compost estudiado. Sin embargo, los datos resultan útiles como una aproximación si se quisiera elaborar un plan de fertilización de suelos a nivel detallado y cuantitativo.

Finalmente, el compost analizado presenta parámetros químicos aceptables para su uso en suelos, de manera que sirve como mejorador de sustrato para las plantas y no se generará un afecto adverso a la salud del suelo.

5.3.2 Análisis biológico cualitativo de compost doméstico

Una medida de la calidad de los abonos son los indicadores de madurez o estabilidad del producto, la respiración es una respuesta de la actividad microbiana en el producto final (Agüero et al., 2104). Asimismo, Frankenberger y Dick (citado en Guerrero et al., 2012), señalaron que existe una relación muy estrecha entre la actividad biológica de un suelo y su fertilidad por lo que, parámetros vinculados a la primera han sido propuestos como indicadores apropiados del mencionado impacto, uno de ellos es la producción de dióxido de carbono (como reflejo del sustrato carbonado consumido por los microorganismos).

Los resultados de la prueba de respiración microbiana se reportaron en cm de precipitado, siendo este un parámetro cualitativo de comparación entre las mismas muestras (Figura 18). La metodología empleada fue el método de incubación en medio cerrado descrito por Anderson (1982), en el cual se da la formación de un precipitado el cual es proporcional a la respiración del suelo. No obstante, en el método tradicional el desprendimiento de CO₂ se estima mediante titulación con HCl 0,1N, en presencia de tres gotas de fenolftaleína al 1% (Guerrero et al., 2012), pero por motivos de presupuesto los encargados de esta prueba realizaron únicamente el análisis cualitativo de respiración microbiana con su respectiva comparación entre muestras. En este sentido, no se realizó una comparación contra valores de literatura, por lo que no fue posible ejecutar una equiparación numérica de tasas de respiración.

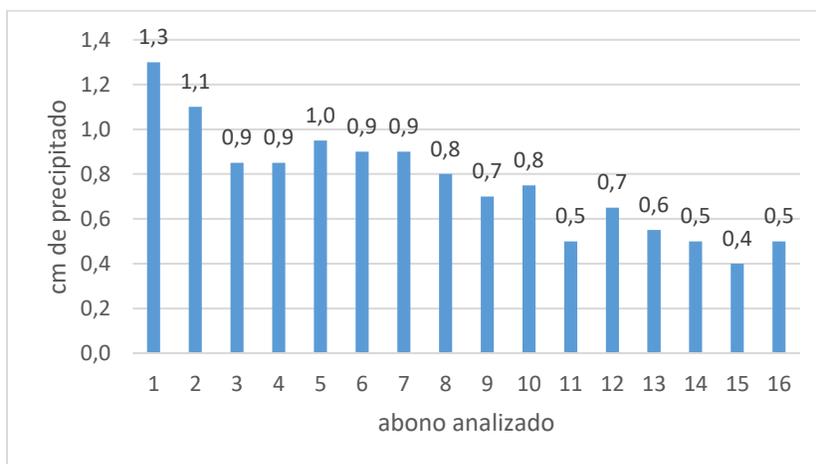


Figura 18. Medición de los precipitados de las muestras

En el caso de la muestra 1 que presenta la mayor respiración microbiana, esta también corresponde a una de las tres muestras con mayor relación de C/N, indicando un alto contenido de carbono orgánico disponible. Esto según Guerrero et al., (2012) tiene sentido ya que los materiales de partida suministraron el sustrato necesario para la proliferación de los microorganismos responsables de la descomposición, por lo que es esperable que haya un incremento en la respiración microbiana.

La muestra 2, cuyo resultado es 1,1 cm de precipitado, siendo la segunda con mayor respiración microbiana, también es la muestra con menor tiempo de maduración (aproximadamente 2 semanas, siendo el mínimo recomendado por personal de 360 soluciones verdes) y según, Ayuso et al. (citado en Guerrero et al., 2012), indican que mientras más estable es la materia orgánica, la emisión de CO₂ y la actividad microbiana son menores ya que existe menos material de fácil descomposición lo que impide la degradación por parte de los microorganismos. Por lo tanto, también es esperable que la muestra mantenga bastante actividad microbiana y por siguiente, valores mayores de respiración.

No obstante, otro aspecto que es importante de mencionar es que según Stott et al. (citado en Guerrero, 2012) indican que las diferencias significativas en la descomposición de residuos solo son detectables como máximo hasta treinta días posteriores a la incorporación de los materiales orgánicos, y por lo tanto la actividad microbiana va a ser muy variable debido al aporte de carbono fácilmente asimilable.

Por ello, el resto de las muestras tienen un comportamiento similar respecto a la cantidad de cm de precipitado formado. Una posible explicación a esto es que el tiempo de incubación empleado en este ensayo fue de 48 horas, y tal como lo recomienda la literatura (Guerrero et al., 2012) posterior a los 30 días de incubación es que se comienza a observar una tendencia en mg de CO₂ liberados. También por este mismo motivo, y por la metodología cualitativa empleada no es posible determinar un patrón de respiración microbiana en las muestras, solamente es posible saber cuáles contaban con mayor actividad microbiana en las primeras 48 horas de haber iniciado la prueba.

5.4 PROPUESTAS DE USOS ALTERNATIVOS DEL COMPOST DOMÉSTICO

Tal y como se demostró en las entrevistas realizadas a la población del estudio, en su gran mayoría (cerca de un 80%) de los hogares emplean el compost producido ya sea en sus propios jardines, en los de familiares, o lo utilizan para abonar huertas y parques comunales. A pesar de que la presente investigación abarcó una pequeña muestra de la población total de familias composteras del cantón, dentro de los resultados obtenidos se demostró que sí existen viviendas que reportaron haber tenido dificultades sobre cómo usar el compost generado, y que han considerado tener una sobreproducción de este.

A partir de ello y del problema planteado por la municipalidad de Belén, de que se genere una deserción en la actividad por una sobreproducción de compost y de lo expresado en las entrevistas de las mismas personas participantes del programa, en las cuales algunas de ellas indicaron no contar con patio o zonas verdes, es que se desarrolla la siguiente propuesta de usos alternativos para el compost.

Esto debido a que, es sumamente importante ampliar la cobertura del programa de compostaje doméstico, ya que como lo señaló el Coordinador de Saneamiento Ambiental, solo en el 2021 se logró una reducción de 320 toneladas de residuos ordinarios, lo cual también resultó en una reducción del gasto municipal, además de una disminución de gases de efecto invernadero (GEI) liberados a la atmósfera.

Otro aspecto significativo, es que el no contar con una zona verde dentro o alrededor de la vivienda, no debe ser limitante para el proceso de compost de los residuos orgánicos de las casas, por ello la importancia de educar ambientalmente a las familias sobre la existencia de otras posibilidades para el uso de este abono.

Ahora bien, ante la falta de una reglamentación de la Ley de Residuos para el compostaje, es difícil establecer si el producto generado en el cantón de Belén puede ser comercializable. Además, se carece de un modelo administrativo-financiero para establecer un plan de “negocio”, y hay barreras para el registro del producto final (etiquetado para abonos orgánicos) (Plan Nacional de Compostaje, 2020-2050). Por lo que, partiendo de estas

barreras, se proponen usos alternativos específicos en la aplicación de este compost *in situ* en suelos del cantón. Por ejemplo, para la mejora de suelos erosionados, el mejoramiento de áreas de protección en el territorio cantonal, también con la implementación de este en parques y jardines públicos, así como uso en huertas orgánicas del cantón. Esto considerando que la calidad reportada en los análisis químicos demostró que el compost cumple con los valores óptimos reportados por la literatura.

5.4.1 Estrategia para la implementación de usos alternativos

Según lo mencionado en las entrevistas realizadas a las personas que participaron en el proceso de compostaje del cantón, existe un interés de saber qué otros usos se le puede dar al compost una vez usado en sus plantas o cuando no se cuenta con jardín o espacio adecuado para cultivar en la casa. Es por ello que la propuesta que se plantea es desarrollar un mecanismo de sensibilización y coordinación con la municipalidad de Belén para brindar usos alternativos al compost doméstico.

Para ello, lo primero es generar conocimientos, y ofrecer en las mismas capacitaciones iniciales que reciben las personas participantes del programa, opciones de usos alternativos que serán descritas en la siguiente sección.

Dentro de estas capacitaciones es importante reforzar la idea del compromiso ambiental cantonal y que el compost que no vaya a ser utilizado en sus propios hogares aún puede tener un retorno a la tierra e impactar de manera positiva en los espacios públicos del cantón. En este punto, también es valioso desarrollar una campaña de comunicación cantonal donde se comunique los usos alternativos que está teniendo el compost donado por las familias belemitas, de forma que se incentive a más hogares a darle un uso alternativo en caso de que se esté desperdiciando.

Asimismo, como parte de la sensibilización ambiental a brindar, se puede incluir contenido sobre la iniciativa “4 por mi de suelos para la seguridad alimentaria y el clima”, el cual es un proyecto que surgió en la Conferencia de las Partes de la Convención Marco de Naciones

Unidas sobre el Cambio Climático o COP21 París. Este proyecto tiene como propósito aumentar mundialmente la materia orgánica del suelo en 4 por 1000 o lo que es lo mismo en un 0,4% al año, a fin de compensar las emisiones planetarias de gases de efecto invernadero derivadas de fuentes antropogénicas y detener así el incremento de la concentración de CO₂ en la atmósfera (Burbano, 2018).

Para ello, la iniciativa “4 por mil” incluye dos grandes programas de actividades, de los cuales uno de ellos es:

Un programa de acciones con diversos actores del Estado y de la sociedad civil, que mejore la gestión del carbono de los suelos, combata la pobreza y la inseguridad alimentaria, y que en paralelo contribuya a la adaptación al cambio climático porque mitiga las emisiones, mediante prácticas que restauren el suelo, incrementen sus reservas de carbono orgánico y protegen los suelos con grandes reservas de carbono, así como la biodiversidad (Burbano, 2018).

Para ello se incluye como aspectos metodológicos la capacitación y difusión de conocimientos sobre los aspectos señalados anteriormente. Por ello, es que esta iniciativa se propone como tema a incluir en la educación ambiental a la comunidad, ya que es valioso comunicar y transmitir el conocimiento de cómo el compostaje también aporta a la mitigación del cambio climático.

Una vez reforzado el tema de educación ambiental se procede a crear una sinergia entre las personas que deseen donar su compost y la municipalidad, de manera que haya un recibimiento del material por la parte del gobierno local y que este puede destinarlo a usos alternativos según sea la cantidad y facilidad de uso en el momento. El empleo del compost por parte de la municipalidad queda a decisión interna según sean los recursos disponibles para su aplicación en espacios públicos.

5.4.2 Uso en áreas de protección del cantón

Las áreas de protección (AP) constituyen una limitación al derecho de propiedad privada, acorde con lo establecido en el artículo 45 y 50 de la Constitución Política, sin embargo, dicha limitación no implica una pérdida total de los derechos y obligaciones de las personas propietarias, sobre dichos terrenos (Política Nacional de Áreas de Protección de ríos, quebradas, arroyos y nacientes, 2020-2040).

Por otra parte, algunos beneficios del compost en la estructura física de los suelos descritos por Castillo, Moncada y Corea, (2014) son: mejora la estructura, considerada el factor principal que condiciona la fertilidad y productividad de los suelos, mejora la permeabilidad y aireación, incrementa la capacidad retentiva y aireación, confiere un color oscuro al suelo, ayudando a retener la energía calorífica, disminuyen la erosión del suelo y aumenta la retención de agua en el suelo.

Gracias a los beneficios estructurales que aporta el compost a los suelos, y a la buena calidad obtenida de los resultados de laboratorio de las muestras analizadas, se plantea el uso de este material en las respectivas AP del cantón, tomando en consideración la maquinaria y personal disponible por la municipalidad.

Para la aplicación de este, según la Fundación Hogares Juveniles Campesinos (2004) si las condiciones climáticas son propicias (sin exceso de lluvia o sol), el compost puede esparcirse en cualquier momento. Con esta técnica se coloca el compost fresco directamente sobre el suelo, en finas capas e incorporándolo ligeramente para acelerar su descomposición y así evitar pérdidas de nitrógeno.

5.4.3 Uso en parques y jardines públicos

Existen experiencias en otros países donde se ha empleado el compost producido bajo regímenes descentralizados en jardines y parques públicos, por ejemplo, el caso del procedimiento de compostaje doméstico individual en el Reino Unido utilizando "digestores

de alimentos de cono verde" en jardines residenciales. Se digirieron principalmente alimentos cocinados y, como resultado, se redujo a la mitad la cantidad de residuos que se recogían. El compost se utilizó como acondicionador del suelo en el mismo jardín (Fehr, 2007).

También se encuentra el estudio realizado por Layman y Col, (2009) en el cual estudiaron la rehabilitación de suelos muy compactados para optimizar el crecimiento del arbolado urbano utilizando tierra vegetal y compost como enmienda orgánica. Los autores evaluaron la respuesta de diferentes especies de árboles y los resultados variaron en función del arbolado urbano, no obstante, ellos esperan efectos positivos en los cambios físicos del suelo el crecimiento de los árboles en el futuro.

En otro estudio llevado a cabo en Francia en el 2010, sobre reconstitución de suelo urbano se investigó la influencia del aporte de elevados niveles de materia orgánica al suelo utilizado para la plantación de arbolado, obteniendo resultados positivos ante el uso de niveles altos de compost (40%) (Vidal, Caubel y Olivier 2009).

Es por esto, que parte de los usos alternativos que se le puede dar al compost producido por las familias belemitas, es en jardines y parques públicos del cantón, mejorando la calidad del suelo y propiciando el crecimiento de vegetación. Esta última, incide en la capacidad para gestionar mejor el aumento de temperaturas y peligros de inundaciones, todas consecuencias del cambio climático (Íñiguez, 2020). Además de que arborizar espacios públicos mejora la salud física y mental de los ciudadanos, así como la estética de las ciudades.

Asimismo, de acuerdo con la información brindada por el Coordinador de Saneamiento Ambiental de Belén se determinó que existen 120 parques públicos, según la definición empleada para temas de uso de suelo. Los parques son de distintos tamaños y con diferente porcentaje de áreas verdes. Sin embargo, todos cuentan de manera parcial con áreas verdes. Por lo tanto, el cantón cuenta con suficientes zonas de este tipo para el empleo del compost doméstico.

Además, parte de la información recopilada es que la municipalidad por sí misma no suele comprar abonos para el mantenimiento de parques y áreas públicas, ya que es un servicio que se encuentra tercerizado. No obstante, esporádicamente se compra abono para campañas de arborización, que ocurren una vez al año aproximadamente. Este podría ser otro insumo que se podría añadir a dichas campañas, y que aportaría un mensaje valioso a la comunidad sobre la circularidad de los residuos orgánicos.

Para llevar a cabo dicha acción, se parte nuevamente de la colaboración institucional por parte de la municipalidad de forma que se haga una entrega oportuna del compost por parte de las familias que desean donarlo y luego desde el gobierno local que se generen los mecanismos necesarios para su empleo en jardines y parques cantonales.

5.4.4 Uso en huertas orgánicas cantonales

Como efectos químicos que tiene el compost sobre el suelo se conoce el incremento de la capacidad de intercambio catiónico, incrementa la disponibilidad de nitrógeno, fósforo y potasio, incrementa la eficiencia de la fertilización, particularmente nitrogenada, inactiva los residuos de plaguicidas, debido a su capacidad de absorción, reduce las oscilaciones de pH e inhibe el crecimiento de hongos y bacterias que afectan a las plagas (Castillo, Moncaday Corea, 2014).

Además del ahorro de fertilizantes inorgánicos y de la fijación de carbono, el esparcimiento de compost en la tierra puede dar lugar a una mayor retención de agua en el suelo (reducción del riego), a una menor necesidad de herbicidas/biocidas, a una mejora de la estructura del suelo y a una reducción de la erosión (Boldrin et al., 2009).

En cuanto al compost generado en el cantón de Belén, se observó que este cumple con los valores óptimos para ser empleado en suelos. El valor más alto que sobresale de los rangos reportados en literatura es el de conductividad eléctrica, el cual en un 84% fue mayor a 4 mS/cm. Sin embargo, según lo reportado en las entrevistas realizadas, no ha sido un impedimento o no ha traído consecuencias a las huertas caseras de las familias participantes.

Ahora bien, la propuesta que se plantea es el uso del compost donado por las familias en huertas y/o iniciativas comunales. Por ejemplo, el caso del proyecto Agro Simbiosis, el cual es un sistema agrícola integrado y en armonía con los ecosistemas aún en medio de la ciudad, que brindará alimento sano a la comunidad y hábitat seguro a las especies desplazadas por la industrialización (Agro Simbiosis, 2022). Otra iniciativa comunal que fue desarrollada en el año 2020 es la “Huerta Orgánica Comunal” gestionada por la municipalidad de Belén (Figura 19).



Figura 19. Huerta Orgánica Comunitaria de Belén, Heredia

La propuesta, consiste en generar un mecanismo de coordinación entre la organización, la municipalidad de Belén y las familias que deseen hacer sus donaciones de compost, de forma que el compost belemita pueda ser implementado en el cultivo de alimentos en el mismo cantón y de forma sustentable.

Importante resultar que se mantuvo comunicación con la persona encargada del proyecto Agro Simbiosis y hubo una respuesta positiva ante la posibilidad del empleo de compost doméstico en las huertas respectivas. Además, por parte de la municipalidad de Belén se mantuvo comunicación con la Unidad Ambiental y existe anuencia a recibir el compost

doméstico e inclusive generar un mecanismo de incentivos para que las mismas personas que donen su compost a la huerta puedan recibir productos cosechados en esta.

Para llevar a cabo la propuesta, se parte de la comunicación de dicho proyecto en las capacitaciones iniciales del programa municipal de compostaje doméstico, de forma que las familias tengan conocimiento de esta iniciativa y sepan que existe como uso alternativo a su compost. A partir de ello, se puede generar una coordinación entre la organización y la municipalidad de forma que haya un reconocimiento institucional del proyecto, en donde el producto final surge a partir del compromiso ambiental del gobierno local, y que gracias a la educación ambiental las familias de Belén están colaborando a la gestión integral de sus residuos orgánicos.

5.4.5 Aspectos adicionales para la implementación de usos alternativos del compost

A partir de los resultados obtenidos en las entrevistas, en las cuales se detectó la problemática de que cierta cantidad de familias (cerca de un 20%) no saben qué hacer con su compost una vez producido y dado que no es una constante en todos los hogares, no es factible desarrollar un mecanismo de recolección de compost por parte de la municipalidad. Ya que esto representaría una inversión muy alta para una cantidad de compost que no es tan representativa ni estimable en el tiempo. Esto debido a que el presente estudio es de carácter exploratorio, por lo que no es posible realizar estimaciones estadísticas sobre cuál sería la proyección de sobreproducción de compost en el cantón. Por lo tanto, la propuesta que se plantea es difundir el mensaje de usos alternativos a la comunidad dentro del proyecto existente para que las personas que así lo deseen puedan donar su compost a la municipalidad u otras iniciativas que impacten positivamente a la región de Belén.

Según lo conversado con el Coordinador de Saneamiento Ambiental del cantón, la difusión del proyecto tuvo resultados bastante positivos. La metodología que se implementó para difundir el proyecto de compostaje doméstico en la comunidad fue mediante redes sociales, página web, publicaciones que se compartieron en grupos de cantón o con personas claves

de organizaciones locales de Belén. Se han hecho seis convocatorias y en todas han tenido motivación por parte de la comunidad. Además, por el tema de pandemia la estrategia de comunicación fue primordialmente digital.

A continuación, se propone una serie de puntos que pueden servir de herramientas de comunicación para impulsar a más habitantes del cantón a participar de esta iniciativa. La metodología es basada en el “Kit de herramientas de comunicación en gestión integral de residuos sólidos” del proyecto TRANSFORMA (GIZ, 2020).

Formulación del objetivo

Se propone a la municipalidad de Belén incluir un objetivo dentro del proyecto en el cual se busque informar a la comunidad sobre cómo el compostaje es una forma alternativa de disponer el material orgánico de las casas y que además no es necesario contar con un patio o jardín dentro de la vivienda para sumarse a la iniciativa, ya que el mismo compost puede ser implementado en otros espacios públicos del cantón para el beneficio de toda la comunidad.

Además, otro objetivo en la estrategia de comunicación es Hacer conocer la existencia del proyecto de compost descentralizado, los objetivos y actividades que involucran usos alternativos, mediante la distribución de información en la etapa de convocatorias. Asimismo, otro objetivo es la afianzar relaciones entre actores comunales como huertas orgánicas y/o proyectos de carácter ambiental y agrícola con la municipalidad de Belén.

Identificar y caracterizar a los públicos meta

En esta sección se parte del mismo grupo meta al cual han estado orientadas las campañas del programa en ediciones pasadas, los cuales corresponden a personas propietarias en el cantón de Belén, por un tema de poder cobrar daños o incumplimiento con el programa; además de grupos del cantón o con personas claves de organizaciones locales de Belén que han servido de enlace anteriormente, según lo indicado por el Coordinador de Saneamiento Ambiental.

Además, una vez recibidas las aplicaciones de las personas que desean participar en el programa y cuando se haga la planeación de las capacitaciones es importante incluir como parte de la sensibilización que vayan a recibir estas personas, una sección exclusiva para usos alternativos del compost. Esto con la finalidad de solventar vacíos que se detectaron con las entrevistas realizadas en la presente investigación.

Elaborar los mensajes

Los resultados obtenidos de las entrevistas confirman un alto nivel de compromiso ambiental por parte de las personas participantes del programa de compostaje doméstico, por lo que se propone como mejora a la iniciativa generar mensajes a la comunidad que abarquen los siguientes aspectos:

Como aspecto inicial se debe realizar la consulta a la comunidad de qué aspectos le motivan a participar de este proyecto de compostaje doméstico. A partir de las respuestas obtenidas se prosigue con la construcción de mensajes con líneas estratégicas como las mostradas a continuación.

- Incluir el concepto de economía circular vinculado al compostaje, ya que mediante este se cierran ciclos de material biológico y se reduce la economía lineal de vertido de residuos de origen orgánico.
- Reforzar el mensaje de apropiación cantonal, en donde el mismo compost que se genera en casas puede servir para el cultivo de alimentos, para el embellecimiento de espacios públicos y para la protección de ecosistemas ribereños.
- Mensaje sobre los incentivos que pueden recibir las personas que deseen participar del programa de compostaje doméstico, como la tarifa diferenciada de recolección de residuos sólidos, además la posibilidad de recibir productos agrícolas cultivados en la “Huerta Orgánica Comunitaria” del cantón.
- Mensajes de educación ambiental para las infancias, en donde se visibilice que el compostaje es divertido, mágico y responsabilidad de todas las personas para un futuro sostenible.

- Mensajes de contribución a la mitigación del cambio climático, gracias al secuestro de carbono en el suelo y con la disminución de emisiones de GEI liberadas en rellenos sanitarios, exponer el caso de iniciativa “4 por mil”.
- Una vez puesta en práctica la donación de compost en el cantón se pueden generar videos de entrevistas a las personas para que cuenten su experiencia y sirvan de motivación a más familias belemitas.

Además, en cada una de las secciones anteriores sobre los usos alternativos se incluyen los beneficios que aporta el compost en distintos casos. Estos datos también pueden ser incluidos en los mensajes a difundir. Asimismo, se deben considerar aspectos técnicos como la cultura de pertenencia, el nivel de educación, el lenguaje, los conocimientos previos sobre el tema, los intereses identificados en los habitantes de Belén (GIZ, 2020).

Definir canales y medios

Debido a que este tipo de campañas son masivas y se transmiten a todo el cantón, la manera más económica para audiencias de este tamaño son los medios electrónicos. De igual forma que se han trabajado las ediciones anteriores es ideal promover la compañía mediante páginas web, blogs, chats, redes sociales, apps, mensajería digital (WhatsApp).

Adicionalmente, se puede buscar el apoyo de líderes comunales para la transmisión del mensaje y sobre todo para incentivar a más familias que tal vez no estén convencidas de participar del proyecto por carencia de una zona verde, y así difundir los usos alternativos propuestos anteriormente.

Planificar, monitorear y evaluar

Para esta sección, se contemplan dos aspectos principales. El primero es desarrollar una trazabilidad de las personas que se inscriben en el programa con aspiración de poder donar su compost o si bien lo consideran como una posibilidad en el futuro. Para ello se propone el siguiente ejemplo de matriz de seguimiento, la cual es una herramienta para llenar cuando se haga la inscripción de las nuevas familias participantes.

Cuadro 8. Ejemplo de matriz de seguimiento para la comunicación del proyecto

Objetivo comunicacional	Indicador	Línea base/ Punto de partida	Medios de verificación	Procedimiento de recolección (métodos, herramientas, frecuencia)	Responsable

Tomado de GIZ (2020)

Adicionalmente, el segundo aspecto mencionado en la entrevista realizada al Coordinador de Saneamiento Ambiental es mapear a las personas que realizan compostaje doméstico de manera independiente al programa desarrollado por la municipalidad. En este apartado se puede hacer el ejercicio de que cuando se lance la próxima edición, abrir un formulario exclusivo para las personas que ya participan del proceso de compostaje en el cantón, pero que iniciaron fuera del programa municipal. Además, solicitar evidencia del uso de la compostera y también a estos nuevos contactos brindarles información sobre los usos alternativos que puede tener el compost en caso de que deseen donarlo.

6 CONCLUSIONES

- En cuanto a las prácticas estudiadas en las personas que participaron del proceso de compostaje, se notó una alta capacitación sobre buenas prácticas en el uso de la compostera. Partiendo de que los porcentajes más bajos de residuos introducidos a la compostera fueron las categorías de: comida cocinada con aceite y restos de carnes y huesos, siendo estas dos categorías las menos indicadas de compostar.
- Se determinó que las prácticas de volteo de material de las personas que participaron en el proceso de compostaje son apropiadas según para cada modelo de compostera.
- Se identificó que la tarea del compostaje doméstico, en la mayoría de los casos entrevistados, toda la familia participa del proceso, demostrando un compromiso con la adecuada disposición de desechos orgánicos.
- Fue posible identificar la existencia de familias que presentan problemas de sobreproducción de compost o desconocen sobre usos alternativos que le pueden dar al material una vez agotados los mecanismos convencionales.
- Desde la perspectiva institucional, el modelo descentralizado de la municipalidad de Belén es un modelo exitoso, el cual puede ser difundido a más gobiernos locales del país.
- El programa municipal de compostaje doméstico generó una reducción de 320 toneladas de residuos ordinarios en el año 2021, las cuales representan un ahorro de ¢10.800.000 y 348,768 ton de CO₂ evitadas a la atmósfera al año.
- El trabajo de campo permitió constatar que el modelo de compostaje descentralizado puede ser implementado en viviendas que cuentan tanto con amplitud de espacio y zonas verdes como aquellas con espacios reducidos.
- Se demostró una alta sensibilidad ambiental por parte de las personas participantes del proyecto, producto de capacitaciones y seguimiento institucional, lo que también se refleja en la calidad de compost producido.
- Múltiples y variadas razones fueron reportadas como incentivo para ser parte del programa de compostaje doméstico, demostrando un alto compromiso con la actividad, con el medio ambiente y con sus propias acciones al ser responsables de la valorización de sus residuos orgánicos.

- Los análisis químicos de pH, humedad, conductividad eléctrica, carbono, nitrógeno, y su relación además de otros micronutrientes demostraron que el compost estudiado puede considerarse de buena calidad y emplearse sin causar problemas ambientales al suelo.
- Los usos alternativos del compost abarcan opciones donde el material pueda ser reincorporado al suelo, aportando sus nutrientes y mejoras estructurales al mismo, además de ser propuestas que nutren medidas de adaptación y mitigación al cambio climático necesarias para el cantón.
- Es fundamental incluir en las capacitaciones sobre compostaje doméstico que ya brinda la municipalidad el tema de usos alternativos del compost para que haya un aprovechamiento de los espacios educativos existentes, además poder solventar vacíos encontrados en las entrevistas respecto a este punto específico.

7 RECOMENDACIONES

- Se recomienda a la municipalidad de Belén reforzar el mensaje de compromiso y dedicación hacia el proceso de compostaje, ofreciendo consejos prácticos a las personas usuarias de la forma adecuada de manejar inconvenientes o dificultades en el proceso en caso de presentarlos.
- Dar seguimiento a las familias con la revisión del compost que están generando, usos, en qué tipos de plantas y cantidades a aplicar, ya sea desde la municipalidad o la empresa vendedora de composteras.
- Ampliar más en el tema del monitoreo de la temperatura de la compostera en las distintas fases, tipos de residuos que está permitido añadir, ya que fueron aspectos que generaban dudas y que se señalaron múltiples veces en las entrevistas realizadas.
- Realizar un chequeo posterior a los seis meses de participación en el programa para verificar la condición del proceso de compostaje de las personas participantes y tener un mejor récord del programa una vez finalizado el compromiso inicial adquirido con la municipalidad. Además, esta verificación también ayudaría a ubicar a las familias que están donando su compost para otras causas o bien lo emplean personalmente.
- Realizar en un futuro la determinación cuantitativa de la respiración microbiana para poder hacer una comparación contra valores de literatura óptimos en abonos orgánicos.
- Generar distintos mensajes de educación ambiental relacionados al compostaje orientados a los diferentes grupos etarios del cantón, de manera que haya mensajes dirigidos a las infancias, pero que también que se difunda material para adultos mayores, además promoviendo la inclusión de género y personas con discapacidad en dicha actividad.
- Se debe publicitar a nivel cantonal las opciones de usos alternativos del compost en los lanzamientos de campañas para así incentivar a más familias belemitas a formar parte de la comunidad compostera del cantón.

8 REFERENCIAS

- Abdoli, M. A., Rezaei, M., & Hasanian, H. (2016). Integrated solid waste management in megacities. *Global J. Environ. Sci. Manage*, 2(3), 289–298. <https://doi.org/10.7508/gjesm.2016.03.008>
- Adhikari, B. K., Trémier, A., Martinez, J., & Barrington, S. (2010). Home and community composting for on-site treatment of urban organic waste: Perspective for Europe and Canada. In *Waste Management and Research* (Vol. 28, Issue 11, pp. 1039–1053). <https://doi.org/10.1177/0734242X10373801>
- Agro Simbiosis. (2022). Agro Simbiosis - Cosechando Ciclos. Recuperado de: <https://agrosimbiosis.org/es>
- Almendros, P., Rico, M. I., Lopez, L. M., & Alvarez, J. M. (2008). Deficiencia de Zinc en los cultivos y correctores de carencia del micronutriente. *Vida Rural*, 12(17). <https://oa.upm.es/id/eprint/2472>
- Ansorena, J., & Merino, E. B. D. (2014). Evaluación de la calidad y usos del compost como componente de sustratos , enmiendas y abonos orgánicos. In *Escuela Agraria Fraisoro*.
- Argun, Y. A., Karacali, A., Calisir, U., & Kilinc, N. (2017). Composting as a Waste Management Method. In *J. Int. Environmental Application & Science* (Vol. 12, Issue 3). <https://dergipark.org.tr/en/pub/jieas/479412>
- Artiola, J. F. (2019). Industrial Waste and Municipal Solid Waste Treatment and Disposal. In *Environmental and Pollution Science* (pp. 377–391). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-814719-1.00021-5>
- Ayilara, M. S., Olanrewaju, O. S., Babalola, O. O., & Odeyemi, O. (2020). Waste management through composting: Challenges and potentials. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 12, Issue 11, p. 4456). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/su12114456>
- Azim, K., Soudi, B., Boukhari, S., Perissol, C., Roussos, S., & Alami, I. T. (n.d.). *Composting parameters and compost quality: a literature review*. <https://doi.org/10.1007/s13165-017-0180-z>
- Bernal, M. P., Paredes, C., Sánchez-Monedero, M. A., & Cegarra, J. (1998). Maturity and stability parameters of composts prepared with a wide range of organic wastes. *Bioresource Technology*, 63(1), 91–99. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(97\)00084-](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(97)00084-)

- Boldrin, A., Andersen, J. K., Møller, J., Christensen, T. H., & Favoino, E. (2009). Composting and compost utilization: Accounting of greenhouse gases and global warming contributions. *Waste Management and Research*, 27(8), 800–812. <https://doi.org/10.1177/0734242X09345275>
- Borrero, G. (2014). *ESTUDIO COMPARATIVO DEL USO DE DOS SUSTRATOS CON INÓCULOS MICROBIALES PARA EL TRATAMIENTO DE RESIDUOS ORGÁNICOS SÓLIDOS EN COMPOSTAJE DOMÉSTICO*. (tesis de maestría). Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica.
- Bruni, C., Akyol, C., Cipolletta, G., Eusebi, A. L., Caniani, D., Masi, S., Colon, J., & Fatone, F. (2020). Decentralized community composting: Past, present and future aspects of Italy. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 12, Issue 8, p. 3319). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/SU12083319>
- Burbano Orjuela, H. (2018). El carbono orgánico del suelo y su papel frente al cambio climático. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 35(1), 82-96.
- Campos-Rodríguez, R., & Soto-Córdoba, S. (2014). Estudio de generación y composición de residuos sólidos en el cantón de Guácimo, Costa Rica. *Revista Tecnología En Marcha*, 27(3), 122. <https://doi.org/10.18845/tm.v27i3.2072>
- Castillo Pérez, M. I., Moncada Ponce, J. A., & Corea Carazo, W. A. (2014). *Efecto de la incorporación de abonos orgánicos (compost y lombrihumus) al suelo de la finca Belén, Dipilto, periodo comprendido de mayo a noviembre de 2013* (Doctoral dissertation).
- Castro, A., Henriquez, C., & Bertsch, F. (2009). P y K recommendations. *Agronomía Costarricense Revista de Ciencias Agrícolas*, 33(1), 31–43. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3022570>
- Cogger, C., Sullivan, D., & Bary, A. (2001). *Backyard Composting*. <https://s3.wp.wsu.edu/uploads/sites/2056/2014/01/Backyard-Composting-handout.pdf>
- Colón, J., Martínez-Blanco, J., Gabarrell, X., Artola, A., Sánchez, A., Rieradevall, J., & Font, X. (2010). Environmental assessment of home composting. *Resources, Conservation and Recycling*, 54(11), 893–904. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2010.01.008>
- De Siqueira, T. M. O., & Assad, M. L. R. C. L. (2015). Composting of municipal solid waste in the state of Sao Paulo (Brazil). *Ambiente e Sociedade*, 18(4), 235–258. <https://doi.org/10.1590/1809-4422ASOC1243V1842015>

- Díaz, M. (n.d.). Aplicaciones de los sustratos en jardinería y paisajismo. *Sech.Info*. Retrieved July 13, 2022, from <http://www.sech.info/ACTAS/Acta n° 59. X Jornadas del Grupo de Sustratos/Ponencias Invitadas/Aplicaciones de los sustratos en jardinería y paisajismo.pdf>
- Edjabou, M. E., Jensen, M. B., Götze, R., Pivnenko, K., Petersen, C., Scheutz, C., & Astrup, T. F. (2015). Municipal solid waste composition: Sampling methodology, statistical analyses, and case study evaluation. *Waste Management*, 36, 12–23. <https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2014.11.009>
- Fehr, M. (2007). Confirming decentralised composting as a definite option in urban waste management. In *International Journal of Environmental Technology and Management* (Vol. 7, Issues 3–4, pp. 274–285). Inderscience Publishers. <https://doi.org/10.1504/IJETM.2007.015145>
- Fundación Hogares Juveniles Campesinos. (2004). *Manual de la Granja Integral Autosuficiente*. San Pablo. Colombia.
- GIZ. (2020). KIT DE HERRAMIENTAS DE COMUNICACIÓN EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS. Recuperado de: https://crusa.cr/wp-content/uploads/2021/05/EL_KIT_COMPLETO.pdf
- Herrera-Murillo, J., & Rojas-Marín, J. F. (n.d.). TASAS DE GENERACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS ORDINARIOS EN CUATRO MUNICIPIOS DEL ÁREA METROPOLITANA COSTA RICA GENERATION RATES AND CHARACTERIZATION OF ORDINARY SOLID WASTE IN FOUR MUNICIPALITIES OF THE METROPOLITAN AREA COSTA RICA. In *redalyc.org*. Retrieved April 17, 2021, from <https://www.redalyc.org/pdf/4517/451748499010.pdf>
- Hoornweg, D., & Bhada-Tata, P. (2012). *What a waste: a global review of solid waste management*. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/17388>
- Hoornweg, D., & Giannelli, N. (2007). *Managing municipal solid waste in Latin America and the Caribbean: Integrating the private sector, harnessing incentives*. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/10639>

- Huaman, C., & Cely, L. (2020). Evaluación de la calidad del compost obtenido a partir de residuos orgánicos y microorganismos eficaces (EM) en el distrito de Huayucachi, Huancayo, 2019.
- INEC. (2016). DENSIDAD DE POBLACIÓN DE BELÉN - TOTAL. Recuperado de: <https://www.inec.cr/content/densidad-de-poblacion-belen-total>
- Instituto Meteorológico Nacional. (2022). Factores de emisión de gases de efecto invernadero. *Duodécima edición*. Recuperado de: <http://cglobal.imn.ac.cr/wp-content/uploads/2022/07/FactoresEmision-GEI-2022-1.pdf>
- Íñiguez-Ayón, Y. P. (2020). La vegetación ribereña y su importancia para las ciudades. Estudio de caso: río Humaya, Culiacán, Sinaloa. *Boletín Científico Sapiens Research*, 10(2), 91-100.
- I Plan Nacional de Compostaje 2020-2050. (2020). PLAN NACIONAL DE COMPOSTAJE. Recuperado de: https://www.tec.ac.cr/sites/default/files/media/doc/plan_nacional_de_compostaje_2020-2050.pdf
- Karkanias, C., Perkoulidis, G., & Moussiopoulos, N. (2016). Sustainable Management of Household Biodegradable Waste: Lessons from Home Composting Programmes. *Waste and Biomass Valorization*, 7(4), 659–665. <https://doi.org/10.1007/s12649-016-9517-1>
- Kopaei, H. R., Nooripoor, M., Karami, A., & Ertz, M. (2021). Modeling consumer home composting intentions for sustainable municipal organic waste management in iran. *AIMS Environmental Science*, 8(1), 1–17. <https://doi.org/10.3934/environsci.2021001>
- Krogmann, U., Körner, I., & Diaz, L. F. (2010). Composting: Technology. In *Solid Waste Technology & Management* (Vol. 2, pp. 533–568). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9780470666883.ch35>
- Kucbel, M., Raclavská, H., Růžičková, J., Švédová, B., Sassmanová, V., Drozdová, J., Raclavský, K., & Juchelková, D. (2019). Properties of composts from household food waste produced in automatic composters. *Journal of Environmental Management*, 236, 657–666. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2019.02.018>
- Ley 8839 de 2010. LEY PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS. 24 de junio del 2010. Diario Oficial La Gaceta.
- Loan, L. T. T., Takahashi, Y., Nomura, H., & Yabe, M. (2019). Modeling home composting

- behavior toward sustainable municipal organic waste management at the source in developing countries. *Resources, Conservation and Recycling*, 140, 65–71. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.08.016>
- Lou, X. F., & Nair, J. (2009). The impact of landfilling and composting on greenhouse gas emissions - A review. *Bioresource Technology*, 100(16), 3792–3798. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.12.006>
- Margallo Blanco, M., & María. (2014). *Life cycle model of waste to energy technologies in Spain and Portugal*. <http://hdl.handle.net/10902/6267>
- Margallo, M., Ziegler-Rodriguez, K., Vázquez-Rowe, I., Aldaco, R., Irabien, Á., & Kahhat, R. (2019). Enhancing waste management strategies in Latin America under a holistic environmental assessment perspective: A review for policy support. In *Science of the Total Environment* (Vol. 689, pp. 1255–1275). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.393>
- Márquez, P. B., Blanco, M. J. D., & Capitán, F. C. (2008). 4. Factores que afectan al proceso de compostaje. *Compostaje*, 93.
- Martinez, C. C., & Araque, O. F. (2017). *Implementación del método analítico para la determinación del contenido total de potasio (K), magnesio (Mg) y sodio (Na) en muestras de abono orgánico mediante*. <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/10199>
- Ministerio de Salud. (2016). *PLAN NACIONAL PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS 2016-2021*.
- Municipalidad de Belén. (8 de abril del 2022). *Historia Municipalidad de Belén*. Recuperado el 8 de abril del 2022 de: <https://www.belen.go.cr/historia>
- Municipalidad de Belén. (2020). PROGRAMA DE INCENTIVOS PARA LA GESTIÓN DE LOS RESIDUOS EN LOS HOGARES DEL CANTÓN DE BELÉN “MODELO AMBIENTAL BELEMITA”.
- Municipalidad de la Unión. (2018). SEGURIDAD ALIMENTARIA Y MANEJO ADECUADO DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS EN EL CANTÓN LA UNIÓN. Recuperado de: <https://launion.go.cr/proyectos/seguridad-alimentaria-y-manejo-adeecuado-de-los-residuos-organicos-en-el-canton-la-union/>

- Municipalidad de Desamparados. (2018). DESAMPARADOS HACIA LA CARBONO NEUTRALIDAD. Recuperado de: <https://www.desamparados.go.cr/es/municipalidad/iniciativas-municipales/social/desamparados-hacia-la-carbono-neutralidad>
- Negro, M., Villa, F., Aibar, J., Alarcón, R., Cristóbal, M., Benito, A. DE, García Martín, A., García Muriedas, G., Labrador, C., Lacasta, C., Lezaún, J., Meco, R., Pardo, G., Solano, M., Torner, C., Zaragoza, C., Zaragoza, D., Huesca, E., El Encín, I., ... Toledo, S. (2000). *PRODUCCIÓN Y GESTIÓN DEL COMPOST*. <https://digital.csic.es/handle/10261/16792>
- Noufal, M., Yuanyuan, L., Maalla, Z., & Adipah, S. (2020). Determinants of household solid waste generation and composition in Homs city, Syria. *Journal of Environmental and Public Health*, 2020, 1–15. <https://doi.org/10.1155/2020/7460356>
- Onwosi, C. O., Igbokwe, V. C., Odimba, J. N., Eke, I. E., Nwankwoala, M. O., Iroh, I. N., & Ezeogu, L. I. (2017). Composting technology in waste stabilization: On the methods, challenges and future prospects. In *Journal of Environmental Management* (Vol. 190, pp. 140–157). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.12.051>
- Oviedo -Ocaña, R., Marmolejo -Rebellon, L., Torres -Lozada, P., Ricardo Oviedo, E. O., & Candidato, I. (2012). PEOviedo -Ocaña, R., Marmolejo -Rebellon, L., Torres -Lozada, P., Ricardo Oviedo, E. O., & Candidato, I. (2012). PERSPECTIVAS DE APLICACIÓN DEL COMPOSTAJE DE BIORRESIDUOS PROVENIENTES DE RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES. UN ENFOQUE DESDE LO GLOBAL A LO LOCAL . *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 11. <http://repository.udem.edu.co/handle/11407/917>
- Política Nacional de Áreas de Protección de ríos, quebradas, arroyos y nacientes, 2020-2040. Recuperado el 13 de julio del 2022 de: https://da.go.cr/wp-content/uploads/2020/09/Politica-Nacional-de-Areas-de-Proteccion_2020-40.pdf
- Röben, E. (2002). *Manual de Compostaje Para Municipios*. www.ded.org.ec
- Román, P., Martínez, M. M., & Pantoja, A. (2015). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura Oficina Regional para América Latina y el Caribe Santiago de Chile, 2013 Autores. *Organización de Las Naciones Unidas Para La Alimentación y La Agricultura (FAO)*. www.fao.org/publications

- Sáez, A., Omnia, J. U., & 2014, undefined. (2014). Manejo de residuos sólidos en América Latina y el Caribe. *Redalyc.Org*, 20(3), 1315–8856. <https://www.redalyc.org/pdf/737/73737091009.pdf>
- Soto, G., & Meléndez, G. (2004). *Cómo medir la calidad de los abonos orgánicos*. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/5911>
- Storino, F., Menéndez, S., Muro, J., Aparicio-Tejo, P. M., & Irigoyen, I. (2017). Effect of Feeding Regime on Composting in Bins. *Compost Science and Utilization*, 25(2), 71–81. <https://doi.org/10.1080/1065657X.2016.1202794>
- Storino, Francesco. (2017). Compostaje descentralizado de residuos orgánicos domiciliarios a pequeña escala: Estudio del proceso y del producto obtenido. *Universidad Pública de Navarra*, 1–547. <https://hdl.handle.net/2454/32173%0Ahttps://hdl.handle.net/2454/32173%0A>
- Taiwo, A. M. (2011). Composting as A Sustainable Waste Management Technique in Developing Countries. *Article in Journal of Environmental Science and Technology*. <https://doi.org/10.3923/jest.2011.93.102>
- Tucker, P., Speirs, D., Fletcher, S. I., Edgerton, E., & McKechnie, J. (2003). Factors affecting take-up of and drop-out from home composting schemes. *Local Environment*, 8(3), 245–259. <https://doi.org/10.1080/13549830306660>
- Vázquez, M. A., Sen, R., & Soto, M. (2015). Physico-chemical and biological characteristics of compost from decentralised composting programmes. *Bioresource Technology*, 198, 520–532. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.09.034>
- Vázquez, M. A., & Soto, M. (2017). The efficiency of home composting programmes and compost quality. *Waste Management*, 64, 39–50. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.03.022>
- Vicente, J., Carrasco, J. E., & Negro, M. J. (1996). *Informes Técnicos Ciemat 802 Elcompostaje como tecnología para el tratamiento de residuos: compostaje de bagazo de sorgo dulce con diferentes fuentes nitrogenadas*.
- Vidal-Beaudet, L., Caubel, V., & Olivier, R. (2009). Street tree root development in topsoil amended with high levels of compost. In *II International Conference on Landscape and Urban Horticulture 881* (pp. 511-516).

9 APÉNDICES

9.2 APÉNDICE 1: INSTRUMENTOS PARA RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

9.2.1 Apéndice 1.1 Instrumento de recolección de información sobre prácticas, roles y significados en el proceso de compostaje doméstico

PROYECTO: MODELO DE GESTIÓN PARA EL COMPOST DOMÉSTICO Instrumento de recolección de información sobre prácticas, roles y significados en el proceso de compostaje doméstico Objetivo de la entrevista: Recopilar información sobre prácticas, roles y significados en el proceso de compostaje doméstico. Alcance: La entrevista se aplicará en los distritos de La Asunción, La Ribera y San Antonio del cantón de Belén de Heredia, a una muestra de 32 hogares durante el primer semestre del año 2022. ITCR / Municipalidad de Belén de Heredia	
Nombre de la entrevistadora: Elena Campos Matarrita	Fecha:
Nombre del entrevistado: Contacto:	Código de identificación vivienda:
Información general	
Miembro de la familia entrevistado(a): <input type="checkbox"/> Padre <input type="checkbox"/> Madre <input type="checkbox"/> Hijo(a) mayor de 15 años <input type="checkbox"/> Otro:	¿Cuántas personas habitan en la vivienda y qué edades tienen?
Marca y modelo de compostera:	
PROYECTO: MODELO DE GESTIÓN PARA EL COMPOST DOMÉSTICO Instrumento de recolección de información sobre prácticas, roles y significados en el proceso de compostaje doméstico ITCR / Municipalidad de Belén de Heredia	

<p>1. Fecha de ingreso al programa de composteras domésticas de la municipalidad:</p>	<p>2. ¿Contaba con experiencia previa en el tema de compostaje?: <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No</p>
<p>3. Tipo de materia orgánica que añaden a la compostera: <input type="checkbox"/> Restos de frutas y verduras <input type="checkbox"/> Cáscaras de huevos <input type="checkbox"/> Filtros con el café que quedó en él <input type="checkbox"/> Restos de comida cocinada *sin aceite <input type="checkbox"/> Restos de comida cocinada *con aceite <input type="checkbox"/> Restos de carnes/huesos <input type="checkbox"/> Servilletas, papeles y cartón de huevos <input type="checkbox"/> Platos y vasos compostables* <input type="checkbox"/> Zacate y hojas del jardín</p> <p>Otro:</p> <p>*Platos y vasos compostables: en condiciones favorables de humedad de temperatura y humedad, estos se transforman en materia orgánica.</p>	
<p>4. ¿Pican los residuos antes de colocarlos dentro de la compostera? <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No</p>	<p>5. ¿Secan los residuos antes de colocarlos dentro de la compostera? <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No</p>
<p>6. ¿Cada cuánto giran la compostera?:</p>	<p>7. ¿Cada cuánto producen compost?:</p>
<p>8. ¿Qué hacen con el compost producido?:</p>	
<p>9. Problemas que hayan tenido en el proceso de compostaje: <input type="checkbox"/> Malos olores <input type="checkbox"/> Exceso de lixiviados* <input type="checkbox"/> Insectos u otros organismos <input type="checkbox"/> Exceso de larvas <input type="checkbox"/> Exceso de babosas <input type="checkbox"/> Otro:</p> <p>*lixiviado: fertilizante líquido que desprende la compostera producto de la degradación de la materia orgánica y el contenido de humedad presente en ella.</p>	
<p>10. ¿Recibió la capacitación impartida por la municipalidad sobre el uso de la compostera? <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No</p>	<p>11. Ubicación de la compostera en la casa: <input type="checkbox"/> Bajo techo <input type="checkbox"/> Espacio abierto con ventilación <input type="checkbox"/> Espacio cerrado con poca ventilación</p>

12. ¿Quiénes dentro del hogar tienen una participación activa en el proceso de compostaje?:
13. Razones por las cuales decidieron ser parte del programa:
14. ¿Cuál ha sido su aprendizaje con el proceso de compostaje?:
15. ¿Le recomendaría a alguien tener una compostera? ¿por qué?:
16. En caso de no recomendarla, ¿por qué?:
17. ¿Cuáles fueron algunos temas que deberían de haberles explicado para un manejo más adecuado de la compostera y no se hizo?:

9.2.2 Apéndice 1.2 Entrevista a la Municipalidad de Belén / Área de Servicios Públicos

Entrevista para conocer sobre la perspectiva institucional del proyecto de compostaje doméstico

Datos

Fecha: 22 de abril del 2022

Nombre: Mag. Esteban Salazar Acuña

Puesto: Coordinador Saneamiento Ambiental

Teléfono: 2587 - 0280

Confidencialidad

¿Aprueba ser citado en el trabajo de graduación?

Sí (x) No ()

En caso de contestar un “No” a la pregunta anterior:

¿Permite que la información brindada por usted pueda ser mencionada de forma anónima?

Sí () No ()

General

1. ¿De dónde surgió la idea del proyecto? ¿Cuál fue el porqué del proyecto?

Desde el 2014 manejan programas para el manejo de residuos orgánicos. Primero se planteó una planta centralizada, pero por motivos económicos no se logró ejecutar. Dicho proyecto tenía un costo estimado de ₡300- ₡350 millones para construirlo (incluyendo el equipo), por eso motivo se pensó en variar a un manejo descentralizado.

2. ¿El modelo descentralizado lo tomaron de referencia de algún otro cantón del país o fuera del país?

Indagaron sobre las experiencias de otros cantones en cuanto a manejo descentralizado de residuos orgánicos como Desamparados, La Unión, Alajuela, el cantón central de Heredia y se hizo la propuesta para el cantón de Belén.

En el 2019 Oferta de fondo TRANSFORMA (financiado por la GIZ con apoyo de la fundación CRUSA y respaldo de otras entidades) fondo de recursos no reembolsables para proyectos de tipo de gestión de residuos en Costa Rica. La municipalidad de Belén participó en agosto del 2019 y obtuvieron financiamiento de 54 mil euros. De ese monto con 16 millones de colones adquirieron 395 composteras para el año 2020-2021. Posteriormente, la municipalidad continua el financiamiento de las nuevas composteras, en menor cantidad por el tema del presupuesto

El modelo de Belén es diferente al de otros cantones en el sentido de que la municipalidad da una responsabilidad al usuario, el cual debe cumplir con seis a ocho meses con el programa. Para ello se les hace firmar un acuerdo de compromiso por escrito sobre la responsabilidad de cumplir con los parámetros del programa. Si se incumple se cobra todo el programa (dependiendo del tipo de compostera equivale a ₡78.500 y ₡103). Eso les permitió verificar el compromiso con el programa, que a diferencia de otros programas habían evidenciado pérdidas, devolución o daño de las composteras. Gracias a este mecanismo se logró corroborar un 97-98% de cumplimiento. Por otra parte, después de seis meses de cumplimiento con el programa, la compostera pasa a ser propiedad de las personas usuarias, se les sigue dando seguimiento, pero ya no tiene un gravamen de imposición.

3. ¿Se tomaron en cuenta otros casos de éxito para el diseño del modelo de compostaje doméstico Belemita?

Casos costarricenses y comparación con modelos centralizados internacionales como el de ciertas regiones de España.

4. ¿Cómo fue la difusión del proyecto? Aspectos de motivación en los vecinos del cantón.

Todo se llevó a cabo con el manejo de redes sociales, página web, publicaciones que se compartieron en grupos de cantón o con personas claves de organizaciones locales de Belén. Han hecho seis convocatorias y en todas han tenido motivación. Además, por el tema de pandemia la estrategia de comunicación fue primordialmente digital.

5. ¿Cómo fue la logística de instalación de las composteras?

Las composteras implementadas en el cantón son tecnología importada, que ya había sido probada en el país. Contratación por demanda, en un período de tres a cuatro años. Se abrió una convocatoria mediante la plataforma Google Forms, se recibieron solicitudes, se filtraron. Una vez realizada la contratación se pidió la cantidad según las solicitudes. Dentro de la contratación con las empresas de las composteras se les daba capacitación antes de entregar la compostera, se chequea que las personas hayan recibido la capacitación y posteriormente la empresa traslada las composteras. Para finalizar, de parte de la municipalidad se entregan los documentos de responsabilidad a la empresa para que ellos se los entreguen a las personas usuarias. La empresa ayudaba en la instalación, o brindaban las indicaciones necesarias y se abrían chats generales de WhatsApp para consultas generales de comunicación y retroalimentación. Adicionalmente a un número de WhatsApp que maneja la municipalidad las personas usuarias debían adjuntar evidencias sobre el adecuado uso de las composteras durante los próximos seis meses.

6. ¿Cuál fue la inversión en la compra de las composteras?

€20 millones por convocatoria, varía de cuánta gente se va inscribiendo por convocatoria.

7. En cuanto a la Tarifa Diferenciada, cuál ha sido su experiencia y cómo han logrado aplicarla adecuadamente.

Hasta el presente año se mandó a Concejo Municipal. Se hizo un estudio tarifario que lo que hace es redistribuir las cargas, aquellas personas que están reciclando y compostando se redistribuyó el peso con las personas que no lo hacen. Se encuentra planificado que dicha tarifa entre en vigor en mayo.

Parte de la coordinación futura se incluye, la inscripción de los compostadores activos (no solamente los que ingresaron al programa con la municipalidad sino también aquellas familias que por iniciativa propia ya lo realizaban), se corrobora que lo estén ejecutando y se les aplica la tarifa diferenciada. Con esta nueva tarifa se tendría una reducción de un 20% en la tarifa de recolección de residuos equivalente a ₡500, lo denominan Justicia Social Tributaria.

8. ¿Cuál fue la demanda de participantes en el proyecto? ¿Tuvieron que realizar algún tipo de filtro?

A nivel municipal solo pueden inscribir a personas propietarias en el cantón de Belén, por un tema de poder cobrar daños o incumplimiento con el programa. La demanda varía, inicialmente hubo mucha participación, pero ha ido mermando en el tiempo, sin embargo, han logrado abarcar un buen porcentaje del cantón 4%, lo cual es una importante carga considerando únicamente a los compostadores de la municipalidad, hace falta mapear y ubicar a los compostadores que ya lo ejecutan desde su propia iniciativa.

9. Para el seguimiento de las personas participantes, ¿tuvieron dificultades?

Se contestó en una pregunta anterior.

10. ¿Qué barreras encontraron en el proceso de formalización del programa?

Este programa duró tres a cuatro años con barreras internas. Desde Planificación y Alcaldía se rechazó tres – cuatro veces, por una cuestión de no ser una prioridad, por lo tanto, no se le asignaba el presupuesto. Luego, tras la presión de la comunidad y del Concejo Municipal para el 2019 hubo autorización y con el dinero del Fondo TRANSFORMA el escenario cambio para la municipalidad, dando luz verde al proyecto. Gracias a los resultados obtenidos el proyecto comenzó a fluir.

Otro aspecto que se resalta fue la dificultad en cuanto a comunicación con la agencia GIZ, debido a que fue en el período de pandemia. No obstante, de los 54 mil euros, 51 mil se

ejecutó no solo en el proyecto de compostaje, pero a partir de ahí se le dio el financiamiento al programa.

11. ¿Qué lecciones aprendieron de este programa de compostaje descentralizado?

La Municipalidad de Belén por mucho tiempo se centró en una alternativa centralizada que tenía costos muy elevados. Creían que el programa descentralizado era muy difícil de monitorear, pero el programa ha demostrado dar buenos resultados. Se comenta que tal vez les faltó visión para hacer la propuesta de compostaje descentralizado desde antes.

Ellos estuvieron inmersos en el Programa Nacional de Compostaje, impulsado por el INA. En estas conferencias y talleres vieron ejemplos de España y se tomaron elementos/ideas que plantearon para el modelo de Belén. El hecho de estudiar los casos de otras municipalidades sirvió para la toma de decisiones.

Están proponiendo un inspector para el tema tarifario, a través de muestreos para ver cómo van las personas manejando sus sistemas y para aplicar las tarifas. Este tema tiene mucha aceptación y se propicia la empatía con el proyecto.

Queda pendiente entender cuál es la calidad del compost, si se puede escalar a otros niveles productivos y poderle dar cierre a la economía circular. También construir un expediente sobre el proceso de formalización del programa lo consideran valioso. Parte de los beneficios fue que en el año 2021 se logró una reducción de 320 toneladas de residuos ordinarias y eso implica una reducción del gasto.

