

Universidad Católica de Santa María
**Facultad de Arquitectura e Ingenierías Civil y
del Ambiente**
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



**“DISEÑO DE UNA TECNOLOGÍA LIMPIA PARA EL APROVECHAMIENTO DE
LAS PROPIEDADES TÉRMICAS DEL COMPOSTAJE PARA LA OBTENCIÓN
DE AGUA CALIENTE EN ZONAS RURALES, EN CANOCOTA-CAYLLOMA,
AREQUIPA, 2022”**

Tesis presentada por las bachilleras:

Estremadoyro Valdivia, Kristel

Gamarra Becerra, Erika Fernanda

para optar el título profesional de:

Ingeniera Ambiental

Asesor:

Ing. Cardenas Pillco, Berly

Arequipa - Perú

2023

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
INGENIERIA AMBIENTAL
TITULACIÓN CON TESIS
DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 11 de Enero del 2023

Dictamen: 006242-C-EPIA-2023

Visto el borrador del expediente 006242, presentado por:

2015800522 - ESTREMADOYRO VALDIVIA KRISTEL

2015700182 - GAMARRA BECERRA ERIKA FERNANDA

Titulado:

**DISEÑO DE UNA TECNOLOGÍA LIMPIA PARA EL APROVECHAMIENTO DE LAS PROPIEDADES
TÉRMICAS DEL COMPOSTAJE PARA LA OBTENCIÓN DE AGUA CALIENTE EN ZONAS RURALES,
EN CANOCOTA-CAYLLOMA, AREQUIPA, 2022**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

**2779 - LAZARTE ARREDONDO SONIA
DICTAMINADOR**



**2829 - ARENAZAS RODRIGUEZ ARMANDO JACINTO
DICTAMINADOR**



**3196 - CHANOVE MANRIQUE ANDREA MARIETA
DICTAMINADOR**



Dedicatorias

Esta Tesis se la quiero dedicar principalmente a mis padres que sé que sin el apoyo incondicional de ellos no estaría aquí, donde estoy ahora, logrando este paso tan importante en mi vida profesional.

A mi querido compañero de vida incondicional Renato, por jamás dejar que renuncie ante los momentos más difíciles y a las personas mas importantes en mi vida, los motores por los cuales yo sigo luchando cada día para ser mejor, Santiago y Valentina, mis hijos amados y queridos.

Erika Gamarra

Me gustaría dedicar esta tesis a mi familia, en especial a mis abuelitos Lastenia, Alicia, Jorge y Carlos; que celebremos juntos con quienes aún me acompañan, y un regalo al cielo para quienes trascendieron, sé que también están orgullosos, felices y celebran conmigo.

A mi mamá, que siempre confió en mí y me apoyó en cada paso de mi vida. A mi papá, por haber creído en mí y acompañarme en mi formación como ingeniera y como persona. A mi hermano, por ser mi mejor amigo y luchar conmigo para mejorar esta sociedad. A mi enamorado, Sebastian, por ser mi compañero de aventuras, por ayudarme a crecer y mejorar, por no soltarme cuando me estaba cayendo, que esta tesis sea inspiración para todo lo que queremos lograr juntos.

Kristel Estremadoyro Valdivia

Agradecimiento

A mis Padres, por no dejar de creer en mí y por siempre apoyarme en todo este camino que sabemos, no fue fácil, los amo mucho y les agradezco nunca haberme soltado cuando más lo necesitaba.

A nuestro asesor de tesis, Ing. Berly, gracias por guiarnos y apoyarnos. Gracias por creer en nosotras.

A mi querida compañera de Tesis, mi mejor amiga desde que entramos a la Universidad; Agradezco el apoyo y comprensión cuando lo necesitaba, el cariño mutuo que aún nos tenemos y sé que sin tu apoyo no podríamos haber hecho toda esta Aventura.

A ti Renato, por estar a mi lado en todo este proceso, por ser un hombre y padre ejemplar. Y a mis hermosos hijos, Santiago y Valentina, que son los motores por los cuales yo he seguido luchando.

Erika Gamarra

Quiero agradecer a mi asesor de tesis Ing. Berly Cardenas Pillco, por su apoyo, tiempo, paciencia y amistad. A mis jurados, Ing. Andrea Chanove, Ing. Sonia Lazarte y al Blgo. Armando Arenazas; así mismo, agradezco a todos los profesores que formaron parte de mi carrera universitaria, en especial a quienes me hicieron entenderla y amarla.

Agradezco a todas las personas que me apoyaron durante el proceso de investigación, a mis padres por confiar en mí y apoyarme incondicionalmente, a mi enamorado Sebastian por motivarme y no dejar que me rinda, a mi hermano Nicolas por escucharme, a quienes me ayudaron con el trabajo de campo, Sheyla, Renato, Andreas y Jimmy.

Y como no, agradezco a quien además de ser mi mejor amiga ha sido mi compañera de tesis, Erika, ha sido toda una aventura, que placer haberla realizado contigo.

Agradezco al universo, por las oportunidades, caminos abiertos, y por todas estas personas que ha traído a mi vida. Y, por último, me agradezco a mí misma, por creer en mí, y por no dejar que me rinda hasta conseguirlo.

Kristel Estremadoyro Valdivia

RESUMEN

En la actualidad el acceso a agua caliente representa un lujo para la población de zonas rurales, como es el caso de Canocota-Caylloma, un pueblo ubicado en la sierra sur del Perú; donde los pobladores deben recurrir a diversas estrategias para poder obtener agua caliente para el aseo personal, sin embargo, estas más allá de ser ineficientes, representan una inversión de tiempo y dinero significativos para la realidad socioeconómica del lugar. La presente investigación tuvo como objetivo el diseño de una tecnología limpia, que permita obtener agua caliente aprovechando las propiedades térmicas del compostaje, con el fin de mejorar la calidad de vida de la población de Canocota-Caylloma, Arequipa; así mismo, se buscó que el diseño sea adaptable y replicable de acuerdo a las condiciones de la zona donde se desee implementar. Para trabajar con datos reales, se realizó una encuesta a la población de Canocota, obteniendo como resultado la falta de acceso a agua caliente para el 97% de los habitantes, además, se mostró la predisposición para la implementación de la tecnología por parte de los pobladores en un 100%, dato que ayudó a sustentar su viabilidad. Previo al desarrollo de la Propuesta de Implementación de la tecnología de una ducha pública en Canocota, se realizaron pruebas piloto a través del diseño de tres prototipos a pequeña escala, que fueron instalados en el El Cural, Lateral 7-sublateral 7; se consideraron dos variables para el diseño, la forma y posición en la que se colocaron los sistemas de tuberías de cobre insertas en las pilas de compostaje, donde por uno de los extremos ingresó agua fría y por el otro salió agua caliente. Se realizaron muestreos de la temperatura final del agua en cada uno de los sistemas, variando el tiempo de retención del agua dentro de las tuberías, obteniendo las temperaturas más altas en el sistema de tuberías con forma de espiral cilíndrico inserto en la pila "C" a los cero minutos de retención, alcanzando una temperatura máxima del agua de 56°C. Además, este sistema mostró una eficiencia del 64%, de acuerdo al Balance de Energía realizado. En base a estos resultados, se desarrolló la Propuesta del Plan de Implementación de una ducha pública en Canocota, donde se estableció la dimensión que debe tener la tecnología para obtener agua caliente

para abastecer a la población con agua caliente por un periodo de 12 meses. Adicionalmente, se realizó un Análisis Costo-Beneficio Ambiental donde se confirmó que el beneficio ambiental de la tecnología para obtener agua caliente es significativamente mayor que el costo que supondría su implementación.

Palabras clave: Residuos Orgánicos, Compostaje, Agua Caliente, Sistema de tuberías, Energía Calorífica, Tecnología Limpia



ABSTRACT

Currently, access to hot water represents a luxury for the population of rural areas, as is the case of Canocota-Caylloma, a town located in the southern highlands of Peru, where the villagers must resort to various strategies to obtain hot water for personal hygiene, however, these beyond being inefficient, represent an investment of time and money significant for the socioeconomic reality of the place. The objective of this research was to design a clean technology to obtain hot water by taking advantage of the thermal properties of compost, in order to improve the quality of life of the population of Canocota-Caylloma, Arequipa; likewise, it was sought that the design be adaptable and replicable according to the conditions of the area where it is to be implemented. In order to work with real data, a survey of the population of Canocota was conducted, obtaining as a result that was a lack of access to hot water for 97% of the population., in addition, it was shown the predisposition for the implementation of the technology on the part of the inhabitants in 100%, data that helped to support its viability. Prior to the development of the Proposal for the Implementation of the technology of a public shower in Canocota, pilot tests were conducted through the design of three small-scale prototypes, which were installed in El Cural, Lateral 7-sublateral 7; two variables were considered for the design, the shape and position in which the copper pipe systems inserted in the composting piles were placed, where cold water entered through one of the ends and hot water exited through the other. Samples were taken of the final water temperature in each of the systems, varying the water retention time inside the pipes, obtaining the highest temperatures in the pipe system with a cylindrical spiral shape inserted in pile "C" at zero minutes of retention, reaching a maximum water temperature of 56°C. In addition, this system showed an efficiency of 64%, according to the Energy Balance carried out. Based on these results, the Proposal for the Implementation Plan of a public shower in Canocota was developed, where the dimension that the technology must have to obtain hot water to supply the population with hot water for a period of 12 months was established. Additionally, an Environmental Cost-Benefit Analysis was carried out, where it was confirmed

that the environmental benefit of the technology to obtain hot water is significantly higher than the cost of its implementation.

Key words: Organic Waste, Composting, Hot Water, Piping System, Heat Energy, Green Technology.



INTRODUCCIÓN

El acceso a agua caliente para aseo personal y doméstico, representa un lujo para las zonas rurales del Perú, donde la población debe calentar el agua de forma arcaica o realizar viajes hacia pueblos o ciudades más grandes para hacer uso de duchas públicas. Esta situación, además de representar un riesgo para la salud, supone una gran inversión de tiempo y dinero, teniendo en cuenta la realidad socioeconómica de la población. En Canocota, un pueblo ubicado en la sierra sur del Perú, específicamente en la provincia de Caylloma, departamento de Arequipa, el 97% de la población no cuenta con acceso a agua caliente, y esta realidad se repite a lo largo y ancho de nuestro país.

Los sistemas de generación de energía calorífica, provenientes de fuentes limpias, se ven distantes a las condiciones de vida en zonas rurales, ya que suponen grandes inversiones económicas y conocimientos técnicos avanzados para poder implementarlas; teniendo en cuenta la mala articulación entre las entidades y niveles de Gobierno, llevar una solución para la mejora de la calidad de vida de poblaciones rurales pareciera ser un escenario poco probable a corto-mediano plazo.

Es por este motivo, que el trabajo de investigación propone el uso de una tecnología limpia, de bajo costo, fácil instalación y mantenimiento, adaptable a las diferentes condiciones y realidades de cada lugar; utilizando como materia prima, desechos orgánicos generados a nivel doméstico y agropecuario, estos al pasar por el proceso de compostaje emiten calor, el cual es aprovechado por el sistema de la tecnología para generar agua caliente a altas temperaturas.

ÍNDICE

DICTAMEN APROBATORIO

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

1. CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1 PROBLEMÁTICA DE LA INVESTIGACIÓN	1
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	4
1.3 JUSTIFICACIÓN	4
1.4 OBJETIVOS	7
1.5 HIPÓTESIS	7
1.6 EXPOSICIÓN DE VARIABLES	7
2. CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO	10
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	10
2.2 MARCO TEÓRICO	13
2.2.1. Residuos orgánicos	13
2.2.2. Compost orgánico	15
2.2.3. Sistemas de compostaje	24
2.2.4. Método de Jean Pain	25
2.2.5. Propiedades térmicas del cobre	25
2.3 MARCO LEGAL	26
3. CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	28
3.1 TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN	28
3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	28
3.2.1 Campo de verificación	28
3.2.2 Determinación de la población, muestra y muestreo	29
3.2.3 Técnicas e instrumentos para la recopilación de datos	29
3.3 MATERIALES Y EQUIPOS	31
3.4 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	32
3.4.1 Realizar el diagnóstico de las condiciones actuales, al año 2022, de acceso a agua caliente de la población de Canocota	32
3.4.2 Diseño de un sistema a pequeña escala para la Obtención de Agua Caliente	38
3.4.3 Implementar el prototipo, a pequeña escala, del sistema para la Obtención de Agua Caliente	39

3.4.4 Determinación de la eficiencia del sistema	53
3.4.5 Elaborar una propuesta de implementación de una ducha pública en Canocota-Caylloma, utilizando la tecnología para obtener agua caliente	53
4. CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	55
4.1 Realizar el diagnóstico de las condiciones actuales, al año 2022, de acceso a agua caliente de la población de Canocota	55
4.2 Diseño del prototipo a pequeña escala del Sistema de Obtención de Agua Caliente	66
4.3 Implementación del prototipo a pequeña escala del Sistema para la Obtención de Agua Caliente	71
4.4 Determinación de la eficiencia del sistema	80
4.5 Elaboración de la Propuesta de Implementación de una ducha pública en Canocota-Caylloma, utilizando la tecnología para obtener agua caliente	85
5. CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	95
5.1 Conclusiones	95
5.2 Recomendaciones	97
6. CAPÍTULO VI: REFERENCIAS	98
7. ANEXOS	108

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 01. Operacionalización de las variables de la investigación	9
Tabla 02. Pesaje de los materiales utilizados en la etapa experimental	43
Tabla 03. Resultados de la Autoevaluación del grado de experticia	57
Tabla 04. Resultados de los datos generales y pregunta 1 de la encuesta aplicada en Canocota, Caylloma	60
Tabla 05. Resultados de las preguntas 10 y 11 de la encuesta aplicada en Canocota, Caylloma	64
Tabla 06. Determinación de la eficiencia de los sistemas evaluados en las pilas A, B y C	83
Tabla 07. Paso a paso de la Propuesta del Plan de Implementación de una ducha pública en Canocota, Caylloma	90
Tabla 08. Análisis Costo-Beneficio Ambiental de la tecnología Allpa Kallpa vs tecnología de terma con paneles solares	93
Tabla 09. Candidatos para la validación de la encuesta	107
Tabla 10. Resultados obtenidos de la Evaluación para la validación de las preguntas de la encuesta	119
Tabla 11. Resultados obtenidos en la encuesta aplicada	120
Tabla 12. Resultados obtenidos de las tomas de temperatura durante la etapa experimental	128
Tabla 13. Datos del promedio de temperatura del agua, pila A	129
Tabla 14. Datos del promedio de temperatura del agua, pila B	129
Tabla 15. Datos del promedio de temperatura del agua, pila C	130
Tabla 16. Energía Calorífica obtenida durante el proceso experimental	133
Tabla 17. Obtención de costos de tecnologías analizada en el Análisis Costo-Beneficio Ambiental	134
Tabla 17. Obtención de beneficios ambientales de tecnologías analizadas en el Análisis Costo-Beneficio Ambiental	134

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 01. Criterios para la selección de expertos	33
Figura 02. Criterios para la selección de expertos	35
Figura 03. Posición de los Sistemas de tuberías en las pilas A, B y C respectivamente	40
Figura 04. Restos de residuos orgánicos frescos(restos de vegetales y frutas)	41
Figura 05. Residuos orgánicos secos (hojarasca de jardín)	41
Figura 06. Residuos orgánicos secos (hojarasca agrícola)	41
Figura 07. Residuos orgánicos secos (aserrín)	41
Figura 08. Residuos orgánicos secos (ceniza vegetal)	41
Figura 09. Estiércol (Guano de caballo)	41
Figura 10. Estiércol (Gallinaza)	42
Figura 11. Balanza industrial	42
Figuras 12-17. Conformación de la pila A con el sistema de tuberías inserto	44
Figuras 18-25. Conformación de la pila B con el sistema de tuberías inserto	45
Figuras 26-30. Conformación de la pila C con el sistema de tuberías inserto	46
Figuras 31-33. Toma de temperaturas iniciales (antes del volteo e hidratación)	47
Figuras 34-36. Toma de temperaturas finales (después del volteo)	47
Figuras 37-38. Toma de temperatura inicial del agua	48
Figuras 39-41. Toma de muestras de temperatura final del agua, pila A	49
Figura 42-44. Toma de muestras de temperatura final del agua, pila B	49
Figuras 45-47. Toma de muestras de temperatura final del agua, pila C	50
Figura 48-50. Volteo de la pila A, B y C	50
Figura 51. Muestreo de humedad de la pila A	51
Figuras 52. Muestreo de humedad de la pila B	51
Figuras 53. Muestreo de humedad de la pila C	51
Figura 54. Resultado del muestreo de humedad pila A	51

Figura 55. Resultado del muestreo de humedad pila B	51
Figura 56. Resultado del muestreo de humedad pila C	51
Figura 57. Rectificación de la humedad de la pila A	52
Figura 58. Mapa de la zona urbana de Canocota y ubicación de Caylloma En el mapa de Arequipa y Perú	55
Figura 59. Flujograma del diseño del sistema	66
Figura 60. Sistema de Obtención de Agua Caliente pila A	68
Figura 61. Sistema de Obtención de Agua Caliente pila B	69
Figura 62. Sistema de Obtención de Agua Caliente pila C	70
Figura 63. Caja negra de balance energético en el sistema de la pila A	80
Figura 64. Caja negra de balance energético en el sistema de la pila B	81
Figura 65. Caja negra de balance energético en el sistema de la pila C	81
Figura 66. Ubicación propuesta para la instalación de las duchas	86
Figura 67. Diseño de la propuesta para la instalación duchas públicas utilizando Allpa Kallpa como Sistema de Obtención de Agua Caliente	89

ÍNDICE DE FÓRMULAS

Fórmula 01. Coeficiente de competencias	34
Fórmula 02. Tamaño de muestra de población	37
Fórmula 03. Energía calorífica	53
Fórmula 04. Eficiencia térmica	53



ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 01. Validación de encuesta a través de la clasificación de preguntas utilizando la escala de Likert	58
Gráfico 02. Resultados de las preguntas 2-5 de la encuesta aplicada en Canocota, Caylloma	61
Gráfico 03. Resultados de la pregunta 6 de la encuesta aplicada en Canocota, Caylloma	62
Gráfico 04. Resultados de la pregunta 7 de la encuesta aplicada en Canocota, Caylloma	63
Gráfico 05. Resultados de las preguntas 8 y 9 de la encuesta aplicada en Canocota, Caylloma	63
Gráfico 06. Resultados de la pregunta 12 de la encuesta aplicada en Canocota, Caylloma	64
Gráfico 07. Temperatura ambiente durante la etapa experimental	71
Gráfico 08. Precipitación total durante la etapa experimental	72
Gráfico 09. Fluctuación de la temperatura del agua obtenida en el sistema de la pila A	73
Gráfico 10. Fluctuación de la temperatura del agua obtenida en el Sistema de la pila B	74
Gráfico 11. Fluctuación de la temperatura del agua obtenida en el Sistema de la pila C	75
Gráfico 12. Promedio de la temperatura del agua alcanzada por pila	76
Gráfico 13. Temperatura ambiente vs temperatura promedio del agua por pila	77
Gráfico 14. Precipitación vs temperatura promedio del agua por pila	78
Gráfico 15. Energía (Q) obtenida en cada una de las pilas de acuerdo a los tiempos de retención	82

Gráfico 16. Determinación de la eficiencia de los sistemas evaluados en las pilas A, B y C	84
Gráfico 17. Fluctuación de la temperatura inicial de las pilas	131
Gráfico 18. Fluctuación de la temperatura final de las pilas	131
Gráfico 19. Temperatura ambiente vs precipitación	132
Gráfico 20. Temperatura ambiente vs temperatura inicial de las pilas	132
Gráfico 21. Precipitación vs temperatura inicial de las pilas	133



CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Problemática de la investigación

El desarrollo energético a nivel mundial es innegable, el uso de nuevas fuentes renovables de energía trajo consigo el desarrollo de las grandes ciudades, sin embargo, el acceso reducido a fuentes tradicionales o renovables de energía en zonas rurales es un problema actual que afecta a la población de manera directa, reduciendo su calidad de vida.

En el caso de Perú, el Gobierno ha asumido compromisos internacionales, entre estos se encuentra el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, siendo específicamente el objetivo 7: “Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos”, este objetivo se proyecta en un plazo máximo al 2030, considerando energía como energía eléctrica y energía térmica para cocinar y calentar, tanto a nivel domiciliario, comunitario y productivo.

Sin embargo, de acuerdo a información de los organismos oficiales o semioficiales (Ministerio de Energía y Minas (MEM), Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y Alianza Mundial de Cocinas Limpias (GACC)), al 2015, la electrificación nacional alcanzó porcentajes de 92%, donde en la zona rural solo se alcanza el 75.2%, lo que significa que 2.5 millones de personas no tienen acceso a electricidad.

La implementación de estas políticas y compromisos asumidos por el Gobierno se ven obstaculizados por diferentes dificultades, tanto institucionales, como la ausencia del Estado en las comunidades rurales aisladas, falta de articulación entre los tres niveles de gobierno, debilidad e incapacidad de los Gobiernos Regionales; dificultades físicas o estructurales, como la ausencia o mal estado de las vías de acceso y el alto costo de operaciones y mantenimiento que supondría llevar energía estas comunidades; dificultades culturales y de capacidad, como desigualdad de acceso a la educación dificultando la transmisión de conceptos técnicos a los pobladores locales y brechas lingüísticas; dificultades económicas

como la falta de fondos de inversión accesibles, demanda dispersa y de bajo valor unitario, etc. (Gamio & Eisman, 2016).

A esto se le puede añadir la falta de aplicación de tecnologías específicas para el lugar, tomando en cuenta las condiciones climáticas, geográficas, y ecosistémicas, materias primas disponibles, aspecto sociocultural y económico del sector o comunidad donde se desea implementar.

Esta desigualdad de acceso al recurso energético afecta directamente la calidad de vida de los pobladores de zonas rurales, afectando el nivel de educación, limitando el desarrollo de pequeñas y medianas empresas que necesitan de la energía para poder realizar los procesos productivos; incrementando y fomentando el uso de energías no renovables y contaminantes, como el uso de leña sin ventilación adecuada, que afectan tanto a la salud humana como al ambiente.

En esta investigación, tomamos como referente al pueblo de Canocota, ubicado en la sierra sur del Perú, en la provincia de Caylloma, región Arequipa. Aquí habitan 95 personas (INEI, 2017), donde a pesar de contar con un sistema de agua potable, la mayor parte de la población no cuenta con acceso a agua caliente para diferentes usos, como el aseo personal, doméstico y productivo.

Esto representa un gran problema para la población, ya que, debido a las bajas temperaturas, que en promedio oscilan entre 3°C - 20°C, el agua de los grifos sale con una temperatura de 14°C aproximadamente, ocasionando que la población tenga que realizar grandes esfuerzos para poder asearse. De acuerdo a una encuesta realizada por nuestro grupo de investigación en el mes de febrero del 2022, un 45% de los pobladores entrevistados indicó que calienta el agua en baldes al sol, a diferencia de un 6.7% que calienta el agua con leña, un 30% que realiza viajes a pueblos anexos para el uso de duchas públicas, un 8.3% indicó que puede pasar mucho tiempo sin tener aseo personal, 5% obtiene agua caliente del subsuelo en afloramientos cercanos al pueblo y solo el 5% restante cuenta con termas solares de baja capacidad, utilizando el agua caliente principalmente para la producción de queso.

Debido a la falta de acceso a duchas privadas o públicas en zonas rurales alejadas, se da una alta movilización hacia otros pueblos más grandes para el uso de duchas públicas, generando gastos de dinero y tiempo, afectando directamente la economía familiar.

Como consecuencia de no poder lavar de manera adecuada los utensilios de cocina, y un aseo personal ineficiente y poco frecuente, la población termina por desarrollar cuadros de infecciones gastrointestinales, de acuerdo a la Encuesta Demográfica y de Salud Familiar, se determinó que en las zonas rurales un 15.3% de niños y niñas menores de 36 meses sufrieron diarreas dentro de las 2 semanas anteriores a la encuesta (INEI, 2019). Para contrarrestar la falta de agua caliente en el aseo doméstico, se potencia el uso de detergentes y productos de limpieza más abrasivos, para conseguir eliminar la suciedad o grasas, afectando a la salud de los pobladores que los utilizan, contaminando suelos y cuerpos de agua cercanos (Falconi et al., 2020).

Del mismo modo la falta de aseo personal o tomar duchas con agua a muy baja temperatura puede afectar a la salud de la población provocando enfermedades respiratorias (Mori Acuña, 2018), alergias, enfermedades reumáticas, problemas cardíacos y complicaciones cutáneas (Aliaga Girón et al., 2019).

Así mismo, se da una alta migración de la población joven a la periferia de ciudades más grandes, zonas que crecen de manera desordenada, sin acceso a recursos básicos como agua, desagüe, electricidad, gestión de residuos sólidos, etc; estableciéndose en invasiones, que dadas las irregularidades mencionadas terminan convirtiéndose en focos infecciosos y de contaminación, expuestos a peligros naturales e inducidos por el hombre, donde la vulnerabilidad de los migrantes aumenta (*Informe sobre las Migraciones en el cubrirMundo 2020*, 2019).

En base a los antecedentes expuestos, es importante generar y desarrollar tecnologías que permitan cubrir las necesidades básicas de suministro de agua caliente, considerando que estas deben adecuarse a la realidad del lugar, haciendo uso de recursos locales, con un sistema de funcionamiento sencillo, económico, fácil de utilizar y replicar por los mismos pobladores en diferentes zonas rurales, mejorando la calidad de vida, potenciando el

crecimiento económico de la población, y brindando una fuente alternativa, limpia y accesible de energía.

1.2 Formulación del problema

¿Será posible obtener agua caliente aprovechando las propiedades térmicas del proceso de compostaje en zonas rurales, en Canocota- Caylloma, Arequipa 2022?

1.3 Justificación:

Los pobladores de zonas rurales no cuentan con acceso a agua caliente, necesaria para el aseo personal, doméstico y productivo, situación que reduce su calidad de vida y limita el desarrollo y crecimiento de estos sectores.

Por este motivo es importante el desarrollo de tecnologías limpias, como la propuesta en la presente investigación, la cual ha demostrado su capacidad para brindar energía térmica y lograr calentar agua a una temperatura apta para el aseo personal.

1.2.1 Aspecto Ambiental

La presente investigación propone el uso de una tecnología que genera energía, utilizando como materia prima diferentes tipos de residuos sólidos orgánicos, aprovechando sus propiedades para la obtención de una energía calorífica limpia y de fácil acceso, que permite calentar el agua, obteniendo al mismo tiempo como producto final el compost, un fertilizante natural que ayuda a la recuperación de la capacidad productiva del suelo.

Así mismo, se reducirá el uso de fuentes de energía común en zonas rurales como la quema de leña, reduciendo la tala ilegal de especies nativas; así mismo, al tener una fuente continua de agua caliente los pobladores podrán realizar el aseo personal y doméstico de manera más sencilla, disminuyendo el uso de productos químicos abrasivos utilizados actualmente para una mejor limpieza.

De este modo, al mejorar la calidad de vida, por medio del acceso a recursos como el agua caliente, decrecerá la tasa de migración de la población joven hacia la periferia de ciudades

más grandes, reduciendo las zonas de invasión, que como sabemos son focos infecciosos y de contaminación.

1.2.2 Aspecto Social

Considerando la ausencia de otro tipo de fuentes de energía, debido a la distancia de las grandes zonas de comercio y el poco tránsito por el área, la presente investigación busca dar solución a este obstáculo limitante, mejorando la calidad de vida de la población y reduciendo los casos de enfermedades respiratorias y gastrointestinales, a través del acceso a agua caliente para las diferentes tareas domésticas y productivas.

De igual manera, al mejorar la calidad de vida en el lugar, la tasa migratoria se reducirá, por lo que el porcentaje de población joven aumentará, ayudando así a conservar la cultura y conocimientos del lugar, preservándolos en el tiempo.

1.2.3 Aspecto Económico

La presente investigación brinda una opción local, a precio accesible para toda la población, reduciendo los gastos de la movilización desde los pueblos alejados, hacia pueblos o ciudades más grandes. Este sistema tiene como base el reaprovechamiento de residuos orgánicos, con costo cero en materia prima, y un costo bajo en otros materiales y herramientas, que al compararse con los beneficios obtenidos y el gasto que implicaría la implementación de otro tipo de sistema, representa una inversión sostenible, siendo así una tecnología consecuente con la realidad económica actual en zonas rurales como el pueblo de Canocota.

1.2.4 Aspecto Técnico-científico

En la presente investigación se desarrollará el diseño de una tecnología limpia que brinde energía térmica para lograr calentar agua a través de un sistema inserto en una pila de compostaje, ideal para su implementación y uso en zonas rurales con bajas temperaturas y escasos recursos económicos, brindando una solución sostenible, sencilla e innovadora, de fácil replicabilidad, por lo que puede ser utilizada en aquellas zonas rurales que se encuentren en una situación similar a la del pueblo de Canocota.

1.2.5 Aspecto Institucional

Teniendo en cuenta la dificultad que supone la implementación de fuentes de energía tradicionales o renovables en zonas rurales, relacionadas con limitaciones geográficas, económicas e institucionales, la tecnología propuesta en este trabajo de investigación para la obtención de agua caliente es una alternativa que además de ser sostenible, puede cubrir la demanda de energía a bajo costo, pudiendo ser utilizada como herramienta de desarrollo tanto por las Municipalidades, Gobiernos Regionales, y el Gobierno Central, con el propósito de mejorar la calidad de vida de la población a través de la prestación de servicios energéticos de fuentes renovables, en pie a cumplir con el ODS. 7 (Garantizar el acceso a una energía asequible, fiable, sostenible y moderna para todos el empleo pleno y productivo y el trabajo decente para todos) y el ODS.10 (Reducir la desigualdad en los países y entre ellos), de la Agenda de Desarrollo los Objetivos de Desarrollo Sostenible estipulados para el 2030.

1.4 Objetivos

a) Objetivo General

Diseñar una tecnología limpia para obtener agua caliente a partir de las propiedades térmicas del compostaje, en Canocota-Caylloma.

b) Objetivos Específicos

- Realizar el diagnóstico de las condiciones actuales, al año 2022, de acceso a agua caliente de la población de Canocota.
- Diseñar tres prototipos a pequeña escala del sistema para la obtención de agua caliente, aprovechando las propiedades térmicas del compostaje.
- Implementar los prototipos a pequeña escala del sistema para la obtención de agua caliente, aprovechando las propiedades térmicas del compostaje.
- Determinar la eficiencia de los prototipos del sistema implementados para la obtención de agua caliente, aprovechando las propiedades térmicas del compostaje.
- Elaborar una propuesta de implementación de una ducha pública en Canocota-Caylloma, utilizando la tecnología para obtener agua caliente, aprovechando las propiedades térmicas del compostaje.

1.5 Hipótesis

Dadas las propiedades térmicas generadas durante el proceso de compostaje, es posible aprovechar las mismas, para el diseño de una tecnología limpia que permita obtener agua caliente, mejorando la calidad de vida de las personas en zonas rurales, enfocado en Canocota - Caylloma, Arequipa.

1.6 Exposición de las variables

a. Variable Independiente

- Temperatura inicial del agua
- Diseño funcional del prototipo del sistema para la obtención de agua caliente

b. Variable Dependiente

- Temperatura final del agua
- Eficiencia del prototipo del sistema para la obtención de agua caliente
- Determinación del prototipo del sistema de obtención de agua caliente, elegido para la propuesta de implementación de duchas públicas en Canocota



c. Operacionalización de Variables

Tabla 01
Operacionalización de las variables de la investigación

Tipo de Variable	Variable	Indicador	Unidades	Instrumento
Variable Independiente	Temperatura inicial del agua	Temperatura	°C	Termómetro
	Diseño funcional del prototipo del sistema para la obtención de agua caliente	-Temperatura que alcanza la pila de compostaje -Tiempo de retención del agua	-°C -min.	-Termómetro -Cronómetro
Variable Dependiente	Temperatura final del agua	Temperatura	°C	Termómetro
	Eficiencia de los prototipos del sistema para la obtención de agua caliente	-Temperatura eficiente de la pila de compostaje -Temperatura final del agua eficiente	°C	Termómetro
	Determinación del prototipo del sistema de obtención de agua caliente, elegido para la propuesta de implementación de duchas públicas en Canocota	Temperatura final del agua eficiente	°C	Termómetro

CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

Sistemas de Recuperación de Calor del Compost

Se han desarrollado diversas investigaciones y proyectos donde se aprovechan las propiedades térmicas del compostaje para la generación de agua caliente. Jean Pain, innovador e investigador, fue el pionero, quien logró crear un sistema que le permitió generar energía, llegando a cubrir el 100% de sus necesidades energéticas. Luego de años de investigación in situ, Jean junto con su esposa Ida, consiguieron diseñar un sistema basado en el uso de tuberías insertas en la pila de compostaje, por estas ingresa un flujo de agua fría y luego de su paso por la pila se obtiene agua caliente, con temperaturas variables dependiendo de la fase en que se encuentre el compostaje y de las condiciones ambientales externas, este sistema logra llevar el agua a una temperatura de 60°C, con un promedio de cuatro litros por minuto, durante 6 meses, sin necesitar intervención posterior a la formación de la pila de compostaje (Pain y Pain, 1980).

Malesani et al. (2021), presentan al Sistema que permite la recuperación del calor generado durante el compostaje como el Sistema de Recuperación de Calor de Compost o en inglés Composting Heat Recovery System (CHRS), donde utilizaron como material principal los residuos provenientes de la poda de árboles. Durante la investigación se realizaron procesos experimentales combinando diversos sistemas de calefacción, integrando sistemas tradicionales y ecológicos, comparando el CHRS bajo un enfoque económico y ambiental, determinando que este es uno de los sistemas de calefacción más eficientes, ya que proporciona calor renovable, a precios competitivos, además, ofrece servicios ecosistémicos como el almacenamiento o sumidero de carbono y el ingreso de nutrientes al suelo a través del uso del compost obtenido. El CHRS diseñado por Malesani et al. (2021), se basa en la conducción para recuperar el calor, donde se colocan tubos de polietileno enrollados dentro de la pila de compostaje, y se utilizan como intercambiadores de calor, calentando el agua que pasa por ellos. En este caso se utiliza como materia prima la

biomasa leñosa, obteniendo un tiempo de recuperación de energía térmica de manera eficiente durante 12 meses, posteriormente la temperatura descendió. Además, proponen que, al concluir el proceso de compostaje, el CHRS puede armarse nuevamente con nuevos residuos orgánicos frescos.

Por otro lado, Fan et al (2021), utilizaron el TBT (tubo enterrado en pilas), que es el más parecido al que usó Pain & Pain (1980), es un método de bajo costo, ya que la ventilación de la pila es natural, siendo este un método efectivo para proporcionar calor de uso doméstico según Smith (2016); El uso de tuberías es una parte fundamental de éste método, es por eso que los materiales de las tuberías tienen un factor determinante para la obtención de calor mediante el compostaje; si bien hubo estudios que indican que el uso de tuberías de polietileno daban resultados óptimos para la obtención del calor (Bajko et al., 2018), las pruebas con tuberías de acero inoxidable flexible también muestran buenos resultados, donde la temperatura del agua logra alcanzar los 50-65°C después de tres días, y puede ser utilizada hasta por más de un mes (Seki et al., 2014), sin embargo, en estudios más recientes se descubrió que al utilizar tubería de cobre, se puede recuperar más calor, pasando por las tuberías altos caudales de agua, principalmente cuando la pila de compostaje se encuentra en la etapa termófila (Nwanze y Clark, 2019).

En cuanto a la influencia de las condiciones ambientales, Irvine et al. (2010), diseñaron un intercambiador de calor para recolectar y transferir el calor generado durante el compostaje, a través de un sistema de tuberías, donde observaron que durante las estaciones de primavera, verano y otoño alcanzaron temperaturas del agua de 65°C, sin embargo, en invierno la temperatura máxima alcanzada llegó a los 60°C. Además, realizaron una comparación de la capacidad de suministro energético y el costo económico, analizando dos alternativas adicionales, terma solar y una bomba de calor geotérmica, donde determinaron que el aprovechamiento del calor generado por el compost es el más eficiente como suministro de calor con un costo similar a las otras dos alternativas.

Agrilab Technologie (2016), desarrolló una propuesta a gran escala, para cubrir las demandas térmicas de la Granja Gibb en la Western Michigan University, donde determinaron que un sistema con una pila de compostaje de 54 toneladas aproximadamente, puede suministrar de manera continua, agua caliente a temperaturas entre 43°C - 54°C.

Utilizando y realizando algunas modificaciones a la investigación y metodología de los Pain, Gaelan Brown, desarrolla una guía detallada, aplicable y replicable en sistemas a pequeña y gran escala. Al aplicar este diseño de sistema logró determinar que incluso a pequeña escala se puede generar calor en forma de agua caliente, donde el agua alcanza un rango de temperatura de 43-54°C, de manera continua durante el mismo periodo de 6 meses (Brown, 2014).

En 2016, Gladys Caiza y Maritza Córdor desarrollaron una investigación para la obtención de agua caliente específicamente en zonas rurales, utilizando como base teórica la metodología de (Pain y Pain, 1980) y (Brown, 2014), en este caso utilizaron tuberías de cobre para ayudar a conducir y mantener mejor el calor, obteniendo como resultado promedio, una temperatura del agua de salida de 50°C, por un periodo promedio de 1 minuto de agua caliente, cuando la temperatura inicial fue de 20°C (Caiza & Córdor, 2016). Habiendo demostrado la eficiencia de los sistemas, se propone el uso del agua caliente obtenida para duchas y calentadores de invernaderos o casas (Pain & Pain, 1980) (Malesani et al., 2021); invernaderos, piscinas o tinas de agua caliente, e incluso para ser la principal fuente generadora de agua caliente en viviendas donde se instale el sistema (Brown, 2014) (Agrilab Technologie, 2016); y para un uso netamente doméstico (Caiza & Córdor, 2016).

Además, a través del uso de compost obtenido, esta tecnología ayuda a recuperar suelos degradados, devolviéndole los nutrientes y la capacidad productiva, mejorando la calidad del suelo y facilitando la reforestación (Pain y Pain, 1980) (Malesani et al., 2021).

2.2 Marco teórico

2.2.1 Residuos Orgánicos

Por residuo orgánico se entiende que éste puede provenir de un ser vivo, estos pueden ser de origen animal o vegetal (Cueto Codorniú, 2017). Se descomponen en forma natural en un tiempo relativamente corto (Say Chamán, 2019).

2.2.1.1 Residuos Orgánicos Domésticos

Los residuos orgánicos domésticos son residuos que también pueden degradarse, estos suelen ser de origen vegetal o animal que son generados en el consumo domiciliario.

La parte orgánica de los residuos domésticos está compuesta principalmente por restos de comida y hojarasca o malezas de jardín, que se producen diariamente, como, cáscaras de frutas y verduras, servilletas de papel biodegradables, restos de café, cáscara de huevo, entre otros (¿QUÉ SON RESIDUOS ORGÁNICOS?, 2019).

2.2.1.2 Residuos Orgánicos Agropecuarios

Los residuos agropecuarios, son aquellos que provienen de las actividades agrícolas, forestales, ganadería y centros de criaderos de animales. (MINAGRI, 2012).

Los residuos o subproductos se generan en cualquier proceso productivo, por lo general no son vistos con una utilidad a futuro como materia prima, o que puedan volver a integrarse en la cadena de producción (Vargas Corredor & Pérez Pérez, 2018).

Estos residuos contienen componentes estructurales como la lignina, celulosa y hemicelulosas, variando en cantidades dependiendo del material (Cabrera et al., 2016).

2.2.1.3 Alternativas de Tratamiento de los Residuos Orgánicos

a. Los residuos como fuente de Alimento Animal

Los residuos que se generan por la actividad agropecuaria, domiciliaria o comercial, pueden ser utilizados como fuente de alimento para animales como los cerdos, vacas, pollos, entre otros (Sugiura et al., 2009), Estos residuos de alimentos son conocidos como “mermas”, sin embargo, algunos los reconocen como “pérdidas, desperdicio y despilfarro” o PDA (Steinvorth Alvarez, 2014). Las PDA son utilizados

para la “producción orgánica”, donde se fortalece e incrementa los nutrientes en la alimentación de los animales (Ramírez N. et al., 2017).

b. Los residuos como fuente de Energía

El proceso que permite aprovechar la energía de los residuos conocido también como Waste-to-energy (WtE), busca la generación de energía manifestada como electricidad, calor o combustible, haciendo uso como fuente principal de los residuos sólidos orgánicos.

Estos, al descomponerse se transforman en gas o líquido. El líquido puede ser procesado y utilizado como fertilizante para la producción de alimentos. Y el gas, se puede utilizar para la generación de electricidad por medio del movimiento de turbinas (El Herald, 2019).

c. Los residuos orgánicos como materia prima para la producción de Abonos Orgánicos

Los abonos orgánicos representan el producto final de la descomposición natural de la materia orgánica, esto gracias a la acción de microorganismos. Cuentan con elevados niveles de nitrógeno mineral y nutrientes necesarios para el enriquecimiento del suelo. Asimismo, aumentan el contenido de materia orgánica en el suelo, la capacidad de retención de humedad, estabilizan el pH, y elevan la cantidad de nutrientes como calcio, magnesio y potasio disponible para las plantas. (Terry Alfonso & Ramos Agüero, 2014)

Además, la mejora de la estructura del suelo reduciendo la erosión del mismo (Quiroz Bartra, 2018).

El compostaje es una de las principales opciones para el tratamiento de residuos orgánicos, consiste en un proceso de descomposición de la materia orgánica, obteniendo como producto final un fertilizante y regenerador de suelos rico en nutrientes y de alta calidad (De Santos & Urquiaga, 2013).

El vermicompostaje, es similar al proceso de compostaje, pero en este proceso la degradación se hace con ayuda de lombrices (lombriz roja californiana) y como obteniéndose como producto final el humus de lombriz (Cueto Codorniú, 2017).

Procesar estos residuos permite aprovechar sus propiedades como materia prima para la obtención de productos y subproductos de gran utilidad y bajo costo (Velasco-Velasco, 2016), así mismo pueden realizar estos procesos de aprovechamiento en zonas rurales para el enriquecimiento de suelos y cultivos (MINAM, 2016) favoreciendo tanto a los agricultores como a la población que consume los productos.

2.2.2 Compost orgánico

2.2.2.1 Definición

El compost es un fertilizante natural, no contiene ningún químico tóxico que pueda afectar a la composición del suelo, los microorganismos presentes ó a los cultivos; es un abono hecho a base de materia orgánica, procedente de residuos domiciliarios o comerciales, así como desechos agropecuarios.

El compost orgánico es el producto del proceso de compostaje, mediante el cual la materia orgánica (residuos de alimentos, hojarasca, etc.) puede ser reaprovechada por un proceso de descomposición, que permite generar un abono orgánico rico en nutrientes (MINAM, 2016).

2.2.2.2 Propiedades Térmicas del Compost

La energía calórica emitida, es, además de una consecuencia del proceso de compostaje, un indicador de que este se está realizando de manera adecuada. Al incrementar la actividad biológica de los microorganismos, las moléculas orgánicas comienzan a degradarse en fracciones más sencillas, liberando la energía almacenada en los enlaces, de esta manera se genera calor, provocando un incremento general de la temperatura. (Torres & Justina, 2018)

2.2.2.2.1 Aprovechamiento de las propiedades térmicas

Debido a que la energía calorífica que se genera en el proceso de compostaje alcanza altas temperaturas, esta puede aprovecharse de manera favorable para calentar agua, así como para generar calefacción, representando una iniciativa viable desde el punto de vista técnico, ambiental y económico (Caiza & Córdor, 2016).

2.2.2.3 Compostaje Aerobio

Este tipo de compostaje se caracteriza por la degradación de materia orgánica en presencia de oxígeno y la acción de una serie de microorganismos junto a los factores ambientales como temperatura y humedad adecuadas (Arce, 2014).

Así mismo, se caracteriza por tener la alternancia de etapas mesotérmicas (10 – 40 °C) con etapas termogénicas (40 – 75°C), dada la participación de microorganismos mesófilos y termófilos respectivamente (Robles Mitma, 2015).

2.2.2.3.1 Fases del compostaje

Según (Román et al., 2013), el compostaje es un proceso biológico, que ocurre en presencia de oxígeno y que, con una adecuada humedad y temperatura, se garantiza la transformación correcta de los residuos orgánicos en un material homogéneo, además, la dinámica y diversidad microbiana durante este proceso estarán condicionados por factores como el oxígeno y el sustrato orgánico (Robledo Mahón, 2018).

Se dividen en las siguientes fases por temperatura:

- **Fase Mesófila:** En esta etapa el proceso de compostaje inicia a temperatura ambiente, llegando hasta los 45°C, este incremento de la temperatura se debe a la intensificación de la actividad microbiana, donde se utilizan como fuentes principales el carbono y nitrógeno para generar calor. Al descomponerse los azúcares, se producen ácidos orgánicos, por lo que el pH puede acidificarse (entre 4.0 y 4.5), esta etapa tiene una duración de entre dos a ocho días (Román et al., 2013).

- **Fase Termófila:** En esta fase conocida también como de “higienización”, los materiales en compostaje sobrepasan temperaturas de 45°C, los microorganismos mesófilos son sustituidos por otros que crecen a temperaturas más elevadas, representados principalmente por bacterias termófilas, que actúan favoreciendo la degradación de celulosa y lignina. Estos microorganismos transforman el nitrógeno en amoníaco por lo que el pH del medio tiende a subir. A partir de los 60°C, aparecen bacterias que liberan esporas y actinobacterias, que se encargan de degradar las ceras, hemicelulosas y compuestos de carbono complejos. Esta etapa tiene una duración variable, desde días o incluso meses, dependiendo de los materiales que se están compostando como de las condiciones climáticas y parámetros de control.

El calor generado durante esta fase ayuda al proceso de higienización de compost, eliminando bacterias de influencia negativa y contaminantes como *Escherichia coli* y *Salmonella spp*, que suelen tener un origen fecal, del mismo modo, al llegar a más de 55°C, se consigue eliminar los huevos de helminto, esporas de hongos fitopatógenos y semillas de malezas que pueden encontrarse el material orgánico en compostaje (Román et al., 2013).

- **Fase Mesófila II:** Cuando las fuentes de carbono y, en especial el nitrógeno se agota, la temperatura comienza a bajar nuevamente hasta los 40-45°C. A lo largo de esta fase, se mantiene la degradación de la celulosa, y suelen aparecer hongos macroscópicos.

Cuando la temperatura desciende a menos de 40 °C, retornan los microorganismos mesófilos, y el pH se mantiene alcalino.

Esta etapa, conocida también como de enfriamiento, puede durar varias semanas (Román et al., 2013).

- **Fase de Maduración:** Es la etapa final, donde el material puede demorar meses en alcanzar nuevamente una temperatura ambiente. Aquí se generan reacciones

secundarias de condensación y se polimerizan los compuestos carbonados formando ácidos húmicos y fúlvicos (Román et al., 2013).

La duración de esta etapa suele ser de 20 días aproximadamente (Rossi & Cabrera, 2016).

La participación de los microorganismos como hongos, bacterias y actinomicetos son relevantes en el proceso del compostaje por su capacidad para degradar residuos orgánicos de plantas y animales como celulosa, quitina y pectina. Los actinomicetos tienen una participación importante en este proceso debido a su capacidad enzimática para hidrolizar sustancias orgánicas complejas (Camacho et al., 2014).

Los microorganismos activos e inactivos que intervienen en un proceso de compostaje pueden estar entre el 2% y el 20% del total de la masa. Esto quiere decir que las poblaciones de microorganismos suelen variar por el rango de temperatura en el que actúan, los sustratos que se utilizan, la tolerancia al pH y el oxígeno. (Laich, 2011)

2.2.2.3.2 Ruta bioquímica del proceso de compostaje

Durante el proceso de compostaje, y de acuerdo a la variación de temperatura, oxígeno y sustrato orgánico, se determinan las variaciones en la diversidad de la comunidad de microorganismos presentes. (Hassen et al., 2001) y (Villar et al., 2016)

De acuerdo a la etapa de compostaje en la que se encuentre, se determinan dos fases:

- Fase de degradación acelerada:

Incluye tanto la etapa mesófila I, donde se alcanzan temperaturas entre 10°C a 40°C. Está caracterizada por la disponibilidad de materia orgánica y compuestos de fácil metabolización, como azúcares, proteínas, lípidos y almidón. Aquí encontramos la predominancia de microorganismos aeróbicos, como bacterias y hongos. Cuando se alcanza la etapa termófila, y la temperatura aumenta exponencialmente, los microorganismos de la etapa mesófila descienden debido a la temperatura, además,

se eliminan los patógenos. Al pasar los 60°C, los microorganismos responsables son termófilos y están representados por los actinomicetos y bacterias que forman esporas, ocurre además, el descenso de la comunidad fúngica, ya que son sensibles a temperaturas muy elevadas. (MacCready et al., 2013)

- Fase de maduración:

Se da durante la etapa mesófila II, donde desciende la temperatura de la pila, ya que al agotarse el material orgánico, disminuye la actividad microbiana. Aquí se da la recolonización de los microorganismos mesófilos, encargados de los procesos de humidificación, generando como reacción secundaria la condensación y polimerización de compuestos carbonados para la conformación de ácidos húmicos y fúlvicos, donde los principales compuestos en degradarse en esta fase son recalcitrantes y de difícil degradación como la celulosa o la lignina. (Robledo Mahón, 2018)

2.2.2.4 Conceptualización de un Sistema de Compostaje Aerobio

Según Oficina de Planeamiento y Presupuesto Unidad de Desarrollo Municipal (1999) el manual para la elaboración de compost tiene:

- Aspectos Cualitativos:

Es importante caracterizar de manera correcta los residuos que deseamos compostar, de acuerdo a los criterios y parámetros establecidos. Si existe una complicación en los Balances de Nutrientes, debemos identificar puntualmente las fuentes de desechos que nos permitan realizar los cambios que se necesiten.

Un aspecto muy importante que se debe tener en cuenta es que debemos asegurarnos que los residuos estén libres de contaminantes químicos, en particular metales pesados. Esto no es frecuente en desechos que provienen de la actividad agropecuaria, pero puede presentarse en algunos residuos de origen agroindustrial y en residuos sólidos domiciliarios.

- Aspectos Cuantitativos:

La cuantificación de los volúmenes que pondremos para compostar, así como la

frecuencia de entrada de los mismos, es un dato de gran importancia, ya que nos va a permitir calcular la cantidad de área que se necesitará para el compostaje y determinar la Unidad de Compostaje.

- Unidad de Compostaje (Uc)

La Unidad de Compostaje, es la cantidad de residuos que nos va a permitir saber cómo será la conformación de una pila y que ingresará al sistema como una unidad independiente del resto.

- Tiempo de Compostaje (Tc)

El Tiempo de Compostaje (Tc), es el tiempo transcurrido desde cuando se conforma una pila hasta la obtención de un compost estable. El Tc, puede variar según las características de los residuos a compostar, las condiciones climatológicas (temperatura, ambiente, porcentaje de humedad relativa, etc.); manejo físico-químico; manejo microbiológico y características del producto final que se desea obtener.

El Tc, es un parámetro que puede ser controlado y establecido con cierto grado de exactitud.

- Área de Compostaje

El área donde se conforman las pilas y se lleva a cabo el proceso se pueden llamar canchas de compostaje o patios de manera ordinaria. Al momento de seleccionar el área determinada a las canchas se debe considerar los siguientes factores:

- En lo posible estas áreas deben situarse en los puntos más altos del terreno. Nunca ubicarse en desniveles del mismo. Es necesario que el área de las canchas presente un declive superior al 1 % hacia las cotas menores del terreno, de esta forma será posible evacuar las aguas de lluvias y coleccionar los líquidos lixiviados que puedan generarse durante el proceso.
- Otro factor a considerar es la impermeabilidad del suelo, ya que es

posible la contaminación de las aguas subterráneas. En suelos que no presenten una impermeabilidad natural adecuada.

2.2.2.2.5 Manejo del Sistema de Compostaje Aerobio:

Para poder mantener controlados un registro y control de datos, es importante no adicionar más material a la pila de compostaje que ya ha sido formada, de esta manera se conservará también la independencia de la Unidad de Compostaje (UC). También se sugiere que al mover la pila y al volver a conformarla, se intente conservar las dimensiones del diseño original.

Se deben tener en cuenta los siguientes puntos para un óptimo manejo del sistema:

- Aireación y homogeneización de la pila de compostaje: el proceso de aireación es esencial y ayuda al crecimiento de microorganismos y procesos metabólicos aerobios, por esa razón se debe intentar realizar de manera homogénea en toda la pila, se puede realizar de manera manual con ayuda de herramientas como rastrillos y palas o mecánicamente con un tractor en caso las dimensiones sean mayores.

Del mismo modo al voltear la pila, se debe llevar el material que se encuentra en el núcleo hacia el exterior o corteza y viceversa.

La aireación no tiene una frecuencia preestablecida ya que depende mucho del tamaño de la pila, temperatura y condiciones climáticas, en caso ésta sea excesiva puede llegar a ser perjudicial.

- Control de la Temperatura: Para la toma de temperatura se debe contar con un termómetro especial diseñado para compostaje, este debe colocarse en el centro de la pila, donde se monitorearán las diferentes temperaturas alcanzadas en todo el proceso. Se sugiere que para evitar daños al termómetro, primero se introduzca una vara metálica haciendo una perforación y luego se coloque el termómetro.
- Control de Humedad: En este caso, para controlar la humedad, se utiliza el siguiente procedimiento empírico:

1. Se toma con la mano un puñado de muestra del material.
2. Posteriormente se cierra la mano y se aprieta con fuerza.
3. Si al oprimir el material observamos que sale un hilo de agua constante, quiere decir que el material contiene una humedad mayor a 40%.
4. Si observamos que no se produce un hilo constante, pero si un goteo intermitente, podemos deducir que la humedad es aproximadamente 40%.
5. Por otro lado, si el material no gotea y al abrir el puño observamos que se han moldeado los dedos, podemos decir que la humedad se encuentra entre 20-30%.
6. En otro caso, si al abrir el puño el material se disgrega, entonces la humedad es menor a 20% (Sztern et al., 1999).

Dentro del proceso de compostaje se debe considerar los efectos que el cambio climático y cómo puede influenciar en éste. Cómo se sabe uno de los más grandes cambios están relacionados a lo que puede producir las precipitaciones ya que está asociada con la degradación del suelo y con una capacidad limitada de almacenamiento del agua, así como la infiltración y la liberación del agua hacia las plantas que generalmente resultan inundadas (Montesinos, 2016). Sin embargo ante un incremento de precipitación, el control constante de la humedad y aireación de las pilas es un punto fundamental para evitar que estas no progresen (FAO,2013). Del mismo modo como una alternativa sostenible ante estos eventos es la implementación de aislantes térmicos que ayudan a mantener no solo la temperatura ideal si no también el control de humedad donde se podría utilizar pacas de avena seca compactada que se utilizaron por Suasaca et al. (2020) en la construcción de viviendas con climas extremos. Otra alternativa

sería el uso de mantas o nylon de polietileno para proteger la pila de la lluvia, viento o pérdida de calor (Alvarado-Raya et al., 2022).

La variación climática, tanto de temperatura, humedad o precipitación, tiene la capacidad de influir sobre el proceso de compostaje, por lo que se debe tener en consideración estrategias para el manejo y control de estas condiciones ambientales. En época fría o de baja temperatura, por un tiempo prolongado, como la estación de invierno, la actividad de los microorganismos puede disminuir, extendiendo el tiempo de duración del proceso de compostaje.

En cuanto a una época cálida con altas temperaturas, como la estación de verano, la pérdida de humedad es mayor debido a la evaporación del agua desde la parte superficial de la pila, por lo que se requiere un control de humedad más frecuente y en caso sea necesario rectificar añadiendo agua a la pila.

Del mismo modo, en zonas o épocas húmedas con altas precipitaciones, se pueden producir problemas en el proceso de compostaje, especialmente si las pilas se encuentran al aire libre o descubiertas, ya que estas pueden tener un incremento excesivo de humedad, generando una considerable disminución del contenido de oxígeno, por lo que se aconseja cubrir las pilas con una membrana plástica en temporada de lluvia (J. O. Herrera et al., 2007).

2.2.2.2.6 Generación y control de gases:

Durante el proceso de compostaje se generan gases como el N_2O (óxido nitroso) y el CH_4 (metano) y CO_2 (dióxido de carbono), debido a la descomposición de diversos residuos de origen orgánico, formando parte de los ciclos biogeoquímicos del N y C de forma natural. A pesar, de que estos gases son generados durante el compostaje, su porcentaje es menor a las que se obtendrían si se aplicarían de manera directa sobre el suelo o se almacenarán, Sin embargo, se ha demostrado que es mayor la capacidad de

secuestro de CO₂ que la emisión del mismo, como indica el Departamento de Medio Ambiente, Cambio Climático y Agua de Australia, quienes hallaron que el 45% del carbono aplicado en la composta se retuvo durante 20 años, el 35% durante 50 años y un 10% durante 100 años. De igual manera, durante el proceso de compostaje se consigue la oxidación de N₂O y CH₄; este proceso tiene una ventaja sobre la descomposición natural de la materia orgánica, ya que permite tener control sobre los parámetros que determinan las emisiones de gases como son la temperatura, aireación, humedad y relación C/N.

Es por este motivo, que a pesar de generar dichos gases, el compostaje se utiliza para poder reducir su emisión a la atmósfera, teniendo en cuenta que todos son considerados GEI (Gases de Efecto Invernadero). De acuerdo a Chen et al (2014), se logró reducir un 50% las emisiones de metano utilizando el compostaje de estiércol de vaca en comparación del almacenamiento del mismo. (Alvarado-Raya et al., 2022)

2.2.3 Sistemas de Compostaje

2.2.3.1 Sistema en Pilas, camellones o parvas:

Pilas, camellones o parvas es el nombre que se le da a la masa de residuos en el compostaje, cuando ésta masa tiene una forma y dimensiones determinadas de acuerdo al método de aireación utilizado (Robles Mitma, M. B., 2015).

2.2.3.1.1 Sistema en Pilas Móviles:

Este método implica el volteo manual o mecánico de los residuos. Los volteos reducen las partículas grandes hasta homogeneizarlas, mejoran la aireación, ayudan a la distribución de los microorganismos presentes en la pila y evita que se genere humedad en un solo punto, acelerando la producción. Existen algunos tipos de pilas

móviles ya sean: triangulares, rectangulares, trapezoidales, entre otras (Buenaño Fiallos, 2022) .

2.2.3.1.1.1 Volteo de la Pila

El volteo se puede hacer de manera manual o utilizando maquinaria. Para hacer el volteo de manera manual se deberá girar la pila 3 veces es decir, remover el material de la pila cambiándola de lugar una y otra vez hasta completar la tercera vuelta. Este es un proceso duro sobre todo al principio (Associació Catalana d'Enginyeria Sense Fronteres, 2018).

2.2.4 Método de Jean Pain

Jean Pain fue un investigador francés que desarrolló una metodología detallada para obtener compost a partir de maleza y estiércol, donde no solo se reconocen sus propiedades para nutrir y recuperar el suelo, sino que se aprovechan los subproductos generados en este proceso como el biogás y el calor producido en la etapa termófila.

Durante sus años de investigación, se le encargó recuperar una zona deforestada y degradada en el sur de Francia, donde descubrió como a través del aprovechamiento de los desechos orgánicos, se puede restaurar un suelo degradado, aplicando silvicultura y permacultura para que esta recuperación se prolongue en el tiempo, promoviendo así mismo una agricultura responsable y consciente del cuidado y respeto que se debe tener hacia el suelo que nos alimenta, devolviéndole los nutrientes y mostrando al mismo tiempo una nueva alternativa a la quema de malezas o pastizales causante de incendios forestales. Debido a su gran éxito, decidió escribir junto a su esposa el libro “Another Kind of Garden”, en el cual explican las diferentes metodologías, de manera detallada, utilizadas para compostar y producir biogás, del mismo modo para aprovechar las propiedades térmicas del proceso de compostaje para la obtención de agua caliente, a través de un sistema de tuberías inserto en la pila de compostaje, aplicado principalmente para calentar invernaderos y mantener temperaturas favorables para el cultivo incluso en invierno (Pain & Pain, 1980).

2.2.5 Propiedades Térmicas del Cobre

El cobre como ya se sabe tiene un elevado índice de conductividad térmica de hasta 400W/m K, así como también es reconocido como un elemento de bajo costo a comparación del oro y la plata (Ramírez Vinasco, 2020), Así mismo la tubería de cobre es un material ideal para diferentes sistemas que requieran intercambios de calor por su alta conductividad eléctrica que inclusive es 1000 veces mayor que el plástico (Caiza & Córdor, 2016).

2.3 Marco legal

➤ *Ley N° 28611 - Ley General del Ambiente*

Es la norma ordenadora del marco normativo legal para la gestión ambiental, establece los principios y normas básicas para asegurar el efectivo ejercicio del derecho a un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida, así como el cumplimiento del deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente, así como sus componentes, con el objetivo de mejorar la calidad de vida de la población y lograr el desarrollo sostenible del país.

➤ *Decreto Supremo 014-2017 MINAM*

Mediante el cual se modifica la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, específicamente en el Título V, Capítulo 1, Art. 37°: Valorización de Residuos Sólidos no municipales, donde la valorización representa la alternativa de gestión y manejo que debe ser priorizada antes que la disposición final de residuos sólidos, la modificatoria introduce en el Artículo 37 una definición más detallada: “la transformación química y/o biológica de los residuos sólidos, para constituirse, de manera total o parcial, como insumos, materiales o recursos en los diversos procesos; así como en la recuperación de componentes o materiales (Municipalidad Provincial de Arequipa, 2017), establecida en la normativa, considerando dentro de las opciones de valorización: el reciclaje, compostaje, reutilización, recuperación de aceites, bio-conversión, biochar, entre otras alternativas de acuerdo a la

disponibilidad tecnológica del país.

➤ **Ley N° 27972: Ley Orgánica de Municipalidades**

En su normativa, en particular el art. 80°, especifica que son funciones específicas compartidas de las municipalidades en materia de saneamiento, salubridad y salud los siguientes:

- Regular y controlar el proceso de disposición final de desechos sólidos, líquidos y vertimientos industriales en el ámbito provincial.
- Regular y controlar la emisión de humos, gases, ruidos y demás elementos contaminantes de la atmósfera y el ambiente

➤ **Ley N°27345: Ley de Promoción del Uso Eficiente de la Energía**

Dentro de esta normativa se plantea la promoción del Uso Eficiente de la Energía, teniendo dentro de sus objetivos la reducción del impacto ambiental negativo del uso y consumo de los energéticos, en el art. 2, inciso g, se especifica el “promover el consumo eficiente de energéticos en zonas aisladas y remotas”.

➤ **Ley N°30754: Ley Marco sobre Cambio Climático**

Como respuesta a los compromisos firmados por el Gobierno Peruano para tomar acción sobre el Cambio Climático, se implementó esta ley, que estipula en el art.16- Medidas de mitigación al cambio climático, que el Estado en sus tres niveles de gobierno, debe diseñar e implementar programas, proyectos y actividades orientadas a reducir el impacto y mitigar los efectos del Cambio Climático, incluyendo dentro de las actividades “el cambio progresivo de los modelos de consumo de la matriz energética a energías renovables y limpias”.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1 Tipo y nivel de investigación

Se determinó de acuerdo al libro Metodología de la Investigación (Hernández et al., 2014), que el tipo de investigación de este estudio, de acuerdo al enfoque es cuantitativa-exploratoria, ya que se investiga un problema poco estudiado, con una perspectiva innovadora y promisoría sobre el aprovechamiento del proceso de compostaje, buscando ser base para estudios y proyectos futuros.

3.2 Diseño de la investigación

Se puede definir como método experimental al proceso en el cual se manipulan una o más variables independientes para poder realizar un análisis de las consecuencias de dicha manipulación sobre las variables dependientes, de forma controlada por el investigador (Britanix, 2008); por lo que determinamos que la presente investigación es de tipo cuantitativa-experimental, ya que utiliza métodos cuantitativos de recolección y análisis de datos, de manera objetiva y con medición controlada y continua, del mismo modo se busca comprobar la hipótesis con enfoque en el resultado y la capacidad de replicabilidad del proyecto en lugares con condiciones socioeconómicas similares.

3.2.1 Campo de verificación

El lateral 7-sublateral 7, en El Cural, es un zona rural, donde se realizan actividades agrícolas como el cultivo de flores en una porcentaje significativo del terreno; además cuenta con instalaciones de sillar, donde se realizó el proceso experimental, contando con un área de 24m² de espacio abierto, con suelo desnudo, para la conformación de las pilas e instalación del sistema, un pozo de 3m² donde se almacenó agua de acequia para la hidratación de las pilas y un almacén de 10m² para guardar herramientas.

3.2.2 Determinación de la población, muestra y muestreo

3.2.2.1 Población

La población de la presente investigación, está representada por los tres prototipos del Sistemas de obtención de Agua Caliente, cuyos prototipos se desarrollaron de manera experimental en el lateral 7-sublateral 7, en la zona agrícola de El Cural, Arequipa.

3.2.2.2 Muestra

La muestra es una parte representativa de la población, de manera dirigida o no probabilística, ya que se seleccionaron las unidades de acuerdo al propósito de la investigación, las muestras fueron determinadas por fracciones extraídas de los Sistemas de obtención de Agua Caliente, determinadas por las muestras de agua obtenidas tanto al ingreso como salida del sistema instalado en el lateral 7-sublateral 7, El Cural, Arequipa.

3.2.2.3 Muestreo

El muestreo se realizó de forma representativa, a través de la recolección de las muestras y realizando la toma de temperaturas en los prototipos del Sistemas de obtención de Agua Caliente, cuyo prototipo se desarrolló de manera experimental en el lateral 7-sublateral 7, de la zona agrícola El Cural, Arequipa.

3.2.3 Técnicas e instrumentos para la recopilación de datos

Para la recolección de datos, se aplicaron las siguientes técnicas e instrumentos, establecidos para una metodología experimental (Hernández et al., 2014), como es el caso de la presente investigación:

3.2.3.2 Análisis de datos secundarios: Se revisaron y sintetizaron diversas fuentes secundarias para la recolección de datos, se recolectó información de diversas fuentes para conocer datos generales de la demografía (INEI,2017) y condiciones climáticas de Canocota (SENAMHI, 2021), la realidad del acceso a fuentes estables de energía en las zonas rurales del Perú (Gamio & Eisman, 2016) y las afecciones a la salud de la población como consecuencia de la falta de acceso a agua caliente para aseo personal (Mori Acuña, 2018) y doméstico (Falconi et al., 2020) y (INEI,2019).

3.2.3.3 Análisis de contenido cuantitativo: Se analizó el trabajo de varios autores que aplicaron tecnologías afines, considerando los datos obtenidos en sus investigaciones para el diseño de la tecnología para la obtención de agua caliente en este estudio y el prototipo a pequeña escala que se desarrolló, considerando el Método de Jean Pain (Pain & Pain, 1980) como base de estudio junto con los modelos de tecnología desarrollados por (Brown,2014), del mismo modo determinamos el diseño de las tuberías de acuerdo a lo expuesto por Caiza y Córdor en el desarrollo de su modelo experimental donde plantean directamente el uso doméstico del agua caliente obtenida (Caiza & Córdor,2016) al igual que (Malesani et al., 2021).

3.2.3.4 Cuestionarios: Para la recolección de datos reales y actualizados sobre la realidad del acceso a agua caliente en el pueblo de Canocota, se aplicó un cuestionario en formato de encuesta mixta (con preguntas cerradas y abiertas), a una cantidad representativa de pobladores, dicha encuesta fue aplicada de manera personal y presencial por el equipo de investigación, en una visita realizada a Canocota. La encuesta se basó en el trabajo de Quiroz Bartra (2018) y Chero Spolapuco y Salcedo de la Cruz (2020).

3.2.3.5 Instrumentos y procedimientos específicos: Se utilizó el Método de Muestreo por Conveniencia para la recopilación de datos de la fase experimental.

- Se tomaron muestras de temperatura de las pilas de compostaje, utilizando como instrumento de medición un termómetro para suelo, este procedimiento se realizó dos veces por semana, antes y después del volteo e hidratación de la pila.
- Del mismo modo, se tomaron muestras de temperatura del agua, antes y después de su paso por las tuberías insertas en el Sistema de obtención de Agua Caliente, al igual que en la toma de temperatura de las pilas de compostaje, este muestreo se realizó dos veces por semana, con tiempos de retención de 0 minutos, 5 minutos y 10 minutos, utilizando un cronómetro para tener precisión en los tiempos determinados.

3.3 Materiales y equipos

Se utilizaron los siguientes materiales y equipos:

- Residuos orgánico frescos (frutas, verduras, residuos agrícolas) (360 kg)
- Residuos orgánicos secos (aserrín, hojarasca y ceniza) (150 kg)
- Residuos orgánicos de origen animal (gallinaza y estiércol de caballo) (90 kg)
- Tubería flexible de cobre de ½" (45m)
- Contenedor de plástico de 20 lt (01)
- Balanza (01)
- Llaves de paso para tubería (03)
- Abrazaderas (06)
- Cinta teflón (01)
- Termómetro para compost (01)
- Cronómetro (01)
- Recipientes de vidrio de 50 ml para muestreo (01)
- Manguera lisa ½ "(15m)
- Embudo (01)
- Pala (02)
- Rastrillo (01)

3.4 Metodología de la investigación

3.4.1 Realización del diagnóstico de las condiciones actuales, al año 2022, de acceso a agua caliente de la población de Canocota.

3.4.1.1. Recopilación de datos bibliográficos

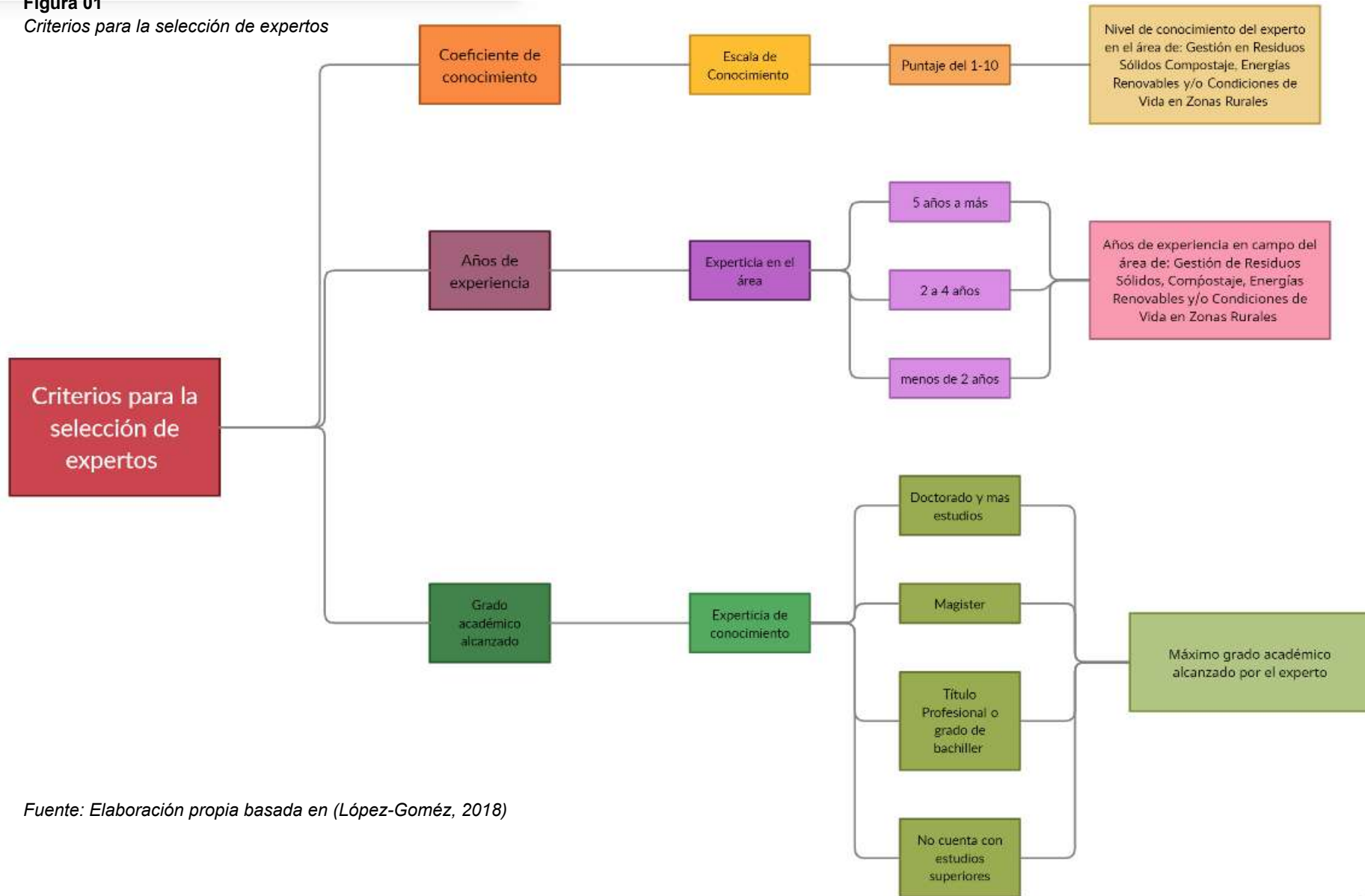
Se recopiló información acerca del lugar escogido (Canocota-Caylloma, Arequipa), a través de una investigación profunda en diferentes plataformas virtuales del Estado para obtener datos sobre la población actual del lugar, geografía, clima, etc.

3.4.1.2. Validación de la encuesta

Para la validación de la encuesta como instrumento de investigación para la recopilación de datos, esta fue presentada a un grupo de expertos, con experiencia en diversas áreas, dentro de las cuales se consideraron: Gestión de Residuos Sólidos, Compostaje, Energías Renovables y Condiciones de Vida en Zonas Rurales.

Para el proceso de Validación de la Encuesta, primero se elaboró una lista de expertos que cumplieran ciertos criterios (Anexo 01), quienes fueron contactados e invitados de manera formal a través de un correo electrónico a participar del proceso, completando un formato de Autoevaluación, elaborado en Google Forms (Anexo 02), donde se consideraron tres criterios para determinar la experticia (Figura 01).

Figura 01
Criterios para la selección de expertos



Fuente: Elaboración propia basada en (López-Goméz, 2018)

De acuerdo a los resultados obtenidos luego de la Autoevaluación realizada por cada uno de los expertos invitados, se calculó el coeficiente competencias (Kcomp), utilizando la siguiente ecuación (López-Gómez 2018):

Fórmula 01
Coeficiente de competencias

$$K_{comp} = 0.5 (K_c + K_a)$$

Elaboración propia basada en (López-Gómez 2018)

Donde:

Kcomp: Coeficiente de competencias

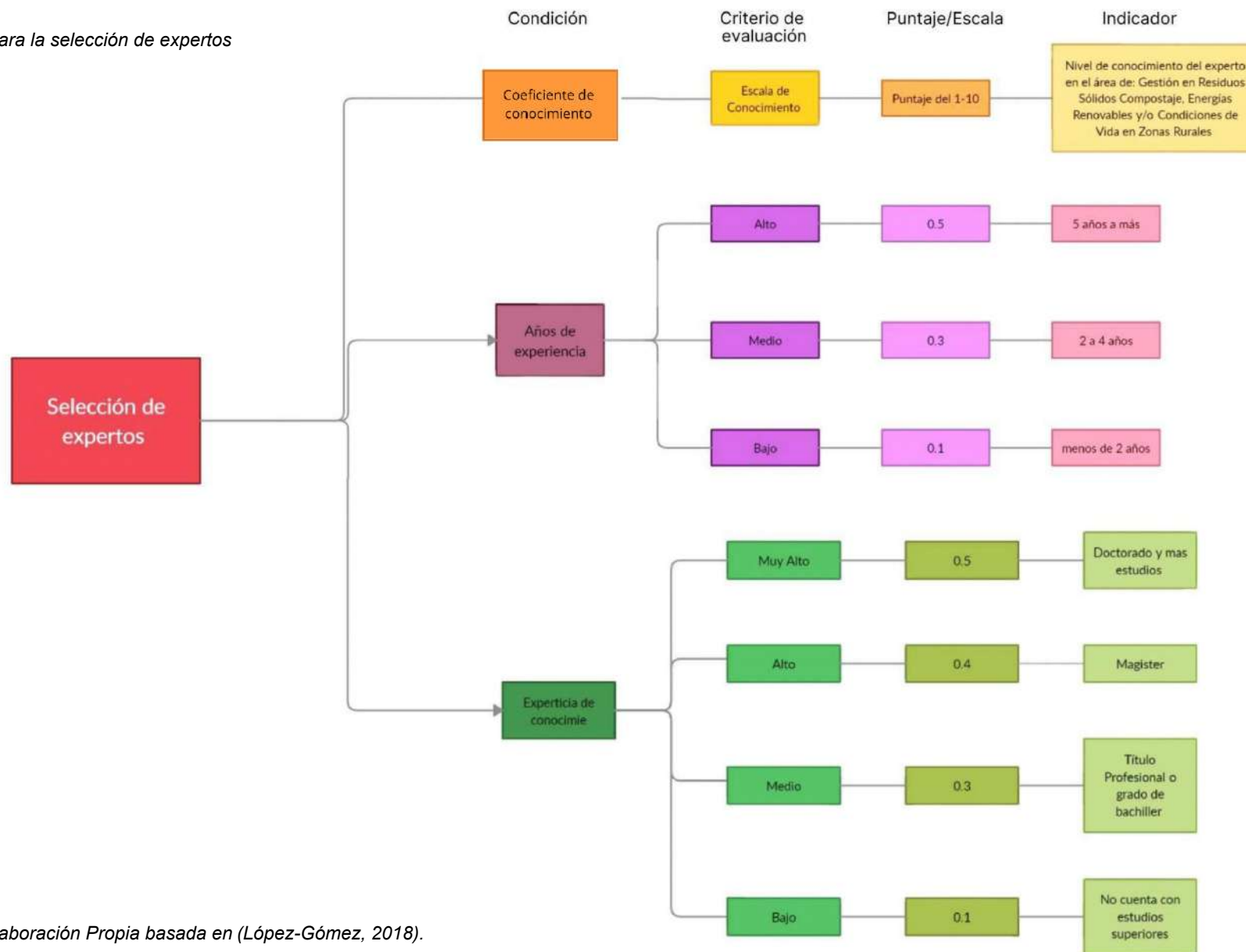
Kc: Coeficiente de Conocimiento

Ka: Coeficiente de Argumentación

Donde el (Kc) significa el conocimiento que cada experto tiene sobre el tema, mientras que el (Ka) son los criterios que tiene cada uno de ellos. El Kc se halló a través de una autoevaluación del experto invitado en una escala 0 - 10, multiplicado por 0,1. Y el Ka se determinó por la autoasignación del experto a varios criterios que argumenten su condición de experto (López-Gómez, 2018).

En la Figura 02 se muestran los indicadores para el cálculo del Coeficiente de Competencias.

Figura 02
Crterios para la seleccin de expertos



Fuente: Elaboración Propia basada en (López-Gómez, 2018).

De acuerdo a la aplicación de la fórmula, el resultado obtenido se interpreta de la siguiente manera:

- Coeficiente de competencia alto corresponde a $0.8 < K_{comp} < 1.0$
- Coeficiente de competencia medio corresponde a $0.5 < K_{comp} < 0.8$
- Coeficiente de competencia bajo a Si $K_{comp} < 0.5$

De acuerdo a los resultados obtenidos, se escogieron 8 expertos para proceder con el Proceso de Validación de la Encuesta. Para esto se utilizó como instrumento una escala de valoración tipo Likert (de 0 a 5), de este modo cada experto seleccionado, se encargó de evaluar la relevancia de cada ítem del cuestionario, cada experto recibió un correo con el link para el Formato de Evaluación para la Calificación de Preguntas de la Encuesta, elaborado en Google Forms (Anexo 03), donde asignaron un valor numérico a cada ítem, en donde "0" representa "nada relevante" y 5 representa "totalmente relevante" (Reyes & Liñán, 2018).

La encuesta estuvo basada en un análisis antropológico, para conocer con mayor profundidad y exactitud a la población de Canocota, las condiciones de acceso a agua caliente, sus necesidades, el tipo de residuos que genera, predisposición para la implementación de un nuevo proyecto. La encuesta se aplicó en una visita presencial al pueblo de Canocota, teniendo una duración de un día; el tipo de encuesta se basó en (Quiroz Bartra, 2018) y (Chero Soplauco & Salcedo de la Cruz, 2020), que permitiéndonos desarrollar la investigación con datos reales (Anexo 04).

Lo que se buscó, es poder recabar información en los siguientes criterios: Valoración general del cuestionario, calidad estética del formato y validez (Aguilar Gavira & Barroso Osuna, 2015). Después se realizó una desviación estándar según (Reyes & Liñán, 2018) para conocer el índice de relevancia de cada pregunta de la encuesta, teniendo en cuenta que debían pasar el 75% de la media (3.75) para que

puedan tomarse en cuenta, en caso de no pasar dicho porcentaje, la pregunta debía ser eliminada de la encuesta.

3.4.1.2. Aplicación de la encuesta

Posteriormente, se aplicó una encuesta mixta (con preguntas cerradas y abiertas), de forma personal y presencial a los pobladores de Canocota, con el fin de conocer las condiciones actuales de acceso a agua caliente y poder determinar la necesidad y viabilidad de la implementación de la tecnología para obtener agua caliente en el lugar de estudio, teniendo en cuenta que la población es de 95 personas, de acuerdo al CENSO del 2017, se aplicará la siguiente fórmula estadística para determinar el tamaño de la muestra de población a encuestar para que esta sea representativa:

Fórmula 02
Tamaño de muestra de población

$$n = \frac{K^2 \times p \times q \times N}{e^2(N-1) + K^2 \times pq}$$

K= Nivel de confianza (95%)

p= probabilidad a favor

q=probabilidad en contra

e=Máximo de error

N= Número de población

Fuente: (Feedback Networks Technologies, 2013)

Luego de aplicar la encuesta se analizaron los datos obtenidos a través de la recopilación de todas las respuestas en una hoja de Excel, donde se procesaron de acuerdo al número de pregunta a través del uso de tablas y Gráficos (Anexo 06).

3.4.2 Diseño de un sistema a pequeña escala para la obtención de agua caliente.

El diseño de las pilas de compostaje, utilizó un sistema de compostaje aerobio, debido a la alta generación de calor que se produce al ser un proceso exotérmico y se basó en pilas móviles, donde la aireación se realizó a través del método de volteo, ayudando a prevenir que estas se sequen o se encostren, facilitando la canalización del aire (Arce, 2014). El proceso de volteo permitió también mantener niveles óptimos de temperatura, humedad e higiene. Las pilas se ventilaron por un proceso de convección natural, donde el aire caliente del centro de la pila sube generando un vacío parcial que aspira el aire de los laterales (Ramírez Torres, 2013). Esta particularidad es importante ya que en la presente investigación se aprovechó este calor generado para calentar el agua. El primer volteo se realizó pasados 4 días de la conformación de las pilas, posteriormente se voltearon cada 3 o 4 días, teniendo dos volteos semanales (Ram, 2013)) y (*How to Make Compost in 18 Days Using the Berkeley Hot Composting Method – Deep Green Permaculture, 2010*) Cada una de las pilas de compostaje llevó inserto un sistema de tuberías, para ello se utilizó una tubería flexible de cobre de 15 metros de longitud en cada una de las pilas, por donde ingresó agua fría y salió agua caliente del extremo opuesto (Caiza & Córdor, 2016). El diseño y estructuración del sistema de tuberías contó con tres variables, tanto la pila "A" como la pila "B", llevaron inserto un espiral plano en diferentes posiciones, en la pila "A" se colocó en la parte inferior o base de la pila de compostaje y en la pila "B" se colocó en la parte media de la pila de compostaje; mientras que la pila "C" contó con un espiral cilíndrico ubicado en el centro de la pila de compostaje, que se extendió desde la base hasta la cima de la misma.

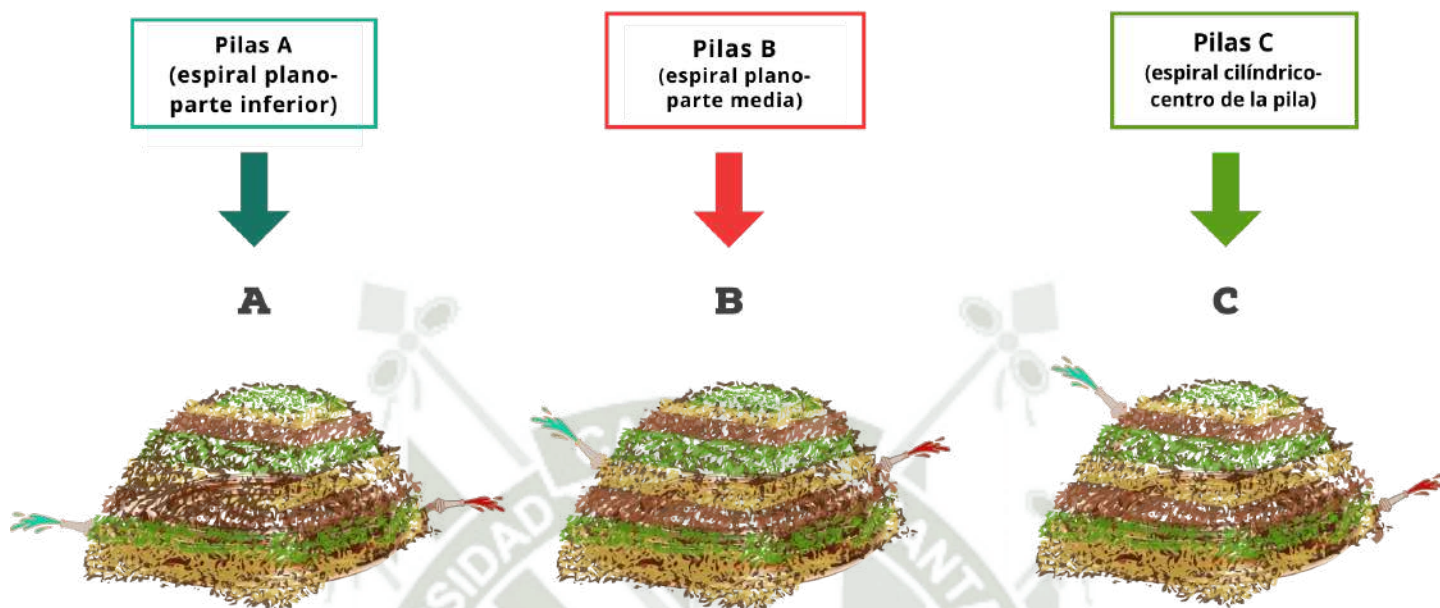
Estas variables nos permitieron observar el comportamiento de la temperatura en las pilas, para así poder determinar si la variación de la posición del sistema de tuberías es influyente en la temperatura alcanzada durante el proceso de compostaje.

3.4.3 Implementación del prototipo, a pequeña escala, del sistema para la obtención de agua caliente

Previo a la instalación de los tres prototipos diseñados, se cavaron zanjas de 5 cm de profundidad por 80 cm de diámetro, cada una, en el lugar donde se conformarían las pilas de compostaje, en estas zanjas se colocó una capa de 10 cm de residuos orgánicos secos, esta capa sirvió como colchón facilitando la aireación de la base de la pila, evitando su compactación y aportando carbono esencial para los microorganismos descomponedores; sobre estas capas se conformaron las tres pilas de compostaje, donde, como se mencionó en el punto anterior, se varió la posición del sistema de tuberías, considerando así tres variaciones: en la pila "A" se colocó la tubería en forma de espiral plano en la parte inferior de la pila sobre la capa de residuos secos, en la pila "B" se colocó la tubería en forma de espiral plano en la mitad de la pila y en la pila "C" se colocó el sistema de tuberías en forma de espiral cilíndrico en el centro de la pila, como se observa en la figura 01. Estas variables permitieron observar el comportamiento de la temperatura final del agua que salió del sistema de cada pila y determinar si la variación de la posición del sistema de tuberías es influyente en la temperatura del agua alcanzada durante el proceso de compostaje.

Figura 03

Posición de los Sistemas de tuberías en las pilas "A", "B" y "C", respectivamente



Fuente: Elaboración propia

Las dimensiones de las pilas de compostaje fueron 1.2 m de ancho en la base y 0.8 m de altura, para facilitar el volteo y controlar las temperaturas. Se conformaron por capas dispuestas de manera intercalada en el orden residuos orgánicos secos, residuos orgánicos húmedos y estiércol, hasta llegar al tamaño establecido. Se trabajó con porcentajes de 60% residuos orgánicos húmedos (restos de verduras, frutas, residuos agrícolas, etc), 25% residuos secos (aserrín, hojarasca y ceniza) y 15% de estiércol (gallinaza y guano de caballo) (Salinas et al., 2018).

Tanto los parámetros de temperatura como de humedad, fueron muestreados dos veces por semana, los datos de temperatura se obtuvieron haciendo uso de un termómetro de tierra y la humedad se determinó a través de la prueba del puño (Salinas et al., 2018); para aplicar este método se tomó con la mano una muestra del compost y se comprimió, considerando que si esta gotea de manera intermitente y breve, y al soltarla se quedan los dedos marcados en la masa, entonces la humedad era la correcta (Ram, 2013) y (*How to Make*

Compost in 18 Days Using the Berkeley Hot Composting Method – Deep Green Permaculture, 2010).

3.4.3.1. Paso a paso para la instalación de los prototipos del Sistema de Obtención de Agua Caliente:

- a. Como se observa en las figuras 04-10, el proceso inició con la recolección de los materiales, compuesta por tres tipos de residuos orgánicos: frescos, secos y estiércol.

Residuos orgánicos utilizados		
<i>Figura 04: Residuos orgánicos frescos (restos de vegetales y frutas)</i>	<i>Figura 05: Residuos orgánicos Secos (hojarasca de jardín)</i>	<i>Figura 06: Residuos orgánicos Secos (hojarasca agrícola)</i>
		
<i>Figura 07: Residuos orgánicos Secos (aserrín)</i>	<i>Figura 08: Residuos orgánicos Secos (ceniza vegetal)</i>	<i>Figura 09: Estiércol (guano de caballo)</i>
		

Figura 10: Estiércol (gallinaza)



- b. Los residuos orgánicos recolectados fueron triturados con el fin de obtener partículas más pequeñas, obteniendo un tamaño promedio entre 5 - 20 cm de acuerdo a lo recomendado, ya que si las partículas son más grandes que 30 cm puede haber un exceso de aireación y sin son menores a 5 cm se puede dar una compactación, dificultando en ambos casos el proceso de compostaje (FAO, 2013). Este proceso se hizo de forma manual y en el caso de los residuos frescos se utilizó una pala.
- c. Una vez triturados los residuos, se pesaron todos los materiales haciendo uso de una balanza industrial (Figura 11), para poder determinar la cantidad exacta que se dispuso en la conformación de cada pila, las cantidades fueron las expuestas en la tabla 02.

Figura 11: Balanza Industrial



Tabla 02
Pesaje de los materiales utilizados en la etapa experimental

Pesaje				
Tipo de residuo	Especificación del material	Cantidad (kg)		
		Por pila	Total por material	Total por tipo de residuo
Residuos orgánicos frescos	Residuos de vegetales y frutas	120	360	360
Residuos orgánicos secos	Hojarasca (residuos de jardín y agrícolas)	12.5	37.5	150
	Aserrín	25	75	
	Ceniza	12.5	37.5	
Estiércol	Gallinaza	15	45	90
	Guano de caballo	15	45	
Total		200	-	600

Fuente: Elaboración propia basada en Salinas et al., 2018

- d. Luego, se conformaron las tres pilas de compostaje, de acuerdo a las dimensiones establecidas en la metodología, cada una de las pilas contó con un sistema inserto de tuberías de cobre para el aprovechamiento del calor generado, estos sistemas se posicionaron de acuerdo a lo indicado previamente.
- Pila "A": Llevó un sistema de tuberías en forma espiral plano que se colocó en la base de la pila de compostaje, los materiales fueron dispuestos en el orden mostrado en las figuras 12-17.

Paso a paso de la conformación de la pila "A" con el sistema de tuberías inserto		
<p><i>Figura 12: Capa de residuos orgánicos secos (hojarasca)</i></p> 	<p><i>Figura 13: Sistema de tuberías de cobre en forma de espiral plano</i></p> 	<p><i>Figura 14: Capa de residuos orgánicos frescos</i></p> 
<p><i>Figura 15: Capa de estiércol (guano de caballo y gallinaza)</i></p> 	<p><i>Figura 16: Capa de residuos orgánicos secos (aserrín y ceniza vegetal)</i></p> 	<p><i>Figura 17: Pila "A" conformada</i></p> 



- Pila "B": Llevó un sistema de tuberías en forma de espiral plano que se colocó en el medio de la pila de compostaje, los materiales fueron dispuestos en el orden mostrado en las figuras 18-25.

Paso a paso de la conformación de la pila "B" con el sistema de tuberías inserto		
<p><i>Figura 18: Capa de residuos orgánicos secos (hojarasca)</i></p> 	<p><i>Figura 19: Capa de estiércol (guano de caballo y gallinaza)</i></p> 	<p><i>Figura 20: Capa de residuos orgánicos secos (aserrín y ceniza vegetal)</i></p> 
<p><i>Figura 21: Sistema de tuberías en forma de espiral plano</i></p> 	<p><i>Figura 22: Capa de residuos orgánicos frescos</i></p> 	<p><i>Figura 23: Capa de residuos orgánicos secos (hojarasca)</i></p> 
<p><i>Figura 24: Capa de estiércol (guano de caballo y gallinaza)</i></p> 	<p><i>Figura 25: Pila "B" conformada</i></p> 	



- Pila “C”: Llevó un sistema de tuberías en forma de espiral cilíndrico que se colocó desde la base hasta el tope de la pila de compostaje, las capas fueron dispuestas en el orden mostrado en las figuras 26-30.

Paso a paso de la conformación de la pila “C” con el sistema de tuberías inserto		
<p><i>Figura 26: Sistema de tuberías en forma de espiral cilíndrico sobre la capa de hojarasca</i></p> 	<p><i>Figura 27: Capa de estiércol (guano de caballo y gallinaza)</i></p> 	<p><i>Figura 28: Capa de residuos orgánicos secos (aserrín y ceniza vegetal)</i></p> 
<p><i>Figura 29: Capa de residuos orgánicos frescos</i></p> 	<p><i>Figura 30: Pila “C” conformada</i></p> 	







- e. Una vez conformadas las pilas se tomó la temperatura inicial de cada una de ellas, como dato base, posteriormente, a partir del día cinco se realizaron dos mediciones de temperatura en cada pila, una antes del volteo (7:30 am aprox), como se observa en las figuras 31-33, y otra después del volteo e hidratación, de lo cual se hablará más adelante(figuras 34-36).




Toma de temperaturas de las pilas de compostaje		
<p><i>Figura 31: Toma de temperatura inicial pila "A"</i></p> 	<p><i>Figura 32: Toma de temperatura inicial pila "B"</i></p> 	<p><i>Figura 33: Toma de temperatura inicial pila "C"</i></p> 
<p><i>Figura 34: Toma de temperatura final pila "A"</i></p> 	<p><i>Figura 35: Toma de temperatura final pila "B"</i></p> 	<p><i>Figura 36: Toma de temperatura final pila "C"</i></p> 

- f. Luego de muestrear las temperaturas iniciales de cada pila, se realizaron cuatro mediciones de la temperatura del agua. La primera toma se obtuvo de la muestra de agua de acequia, considerada como la temperatura inicial del agua, antes de pasar por el sistema de tuberías, como se muestra en las figuras 37-38.

Toma de temperatura inicial del agua	
<i>Figura 37: Temperatura inicial del agua de 16°C</i>	<i>Figura 38: Toma de temperatura inicial del agua</i>
	

Las últimas tres mediciones se realizaron al salir del sistema de tuberías variando el tiempo de retención que permaneció el agua dentro del sistema de tuberías, siendo estos tiempos: 0 minutos, 5 minutos y 10 minutos; tomando una muestra por cada tiempo, repitiendo el procedimiento en cada una de las pilas, como se ve ilustrado en las figuras 39-47.

Toma de temperaturas finales del agua		
<p><i>Figura 39: Sistema de obtención de agua caliente pila "A"</i></p>	<p><i>Figura 40: Toma de temperatura final del agua pila "A"</i></p>	<p><i>Figura 41: Temperatura final del agua pila "A"</i></p>
		
<p><i>Figura 42: Sistema de obtención de agua caliente pila "B"</i></p>	<p><i>Figura 43: Toma de temperatura final del agua pila "B"</i></p>	<p><i>Figura 44: Temperatura final del agua pila "B"</i></p>
		

<p><i>Figura 45: Sistema de obtención de agua caliente pila "C"</i></p>	<p><i>Figura 46: Toma de temperatura final del agua pila "C"</i></p>	<p><i>Figura 47: Temperatura final del agua pila "C"</i></p>
		

g. Luego de la toma de temperaturas del agua, se procedió a hacer el volteo de las pilas de compostaje, como se observa en las figuras 48-50 para esto se utilizaron palas y rastrillos, retirando con cuidado los sistemas de tuberías, para colocarlas en la posición inicial al volver a conformar las pilas.

Volteo de las pilas de compostaje		
<p><i>Figura 48: Volteo de la pila "A"</i></p>	<p><i>Figura 49: Volteo de la pila "B"</i></p>	<p><i>Figura 50: Volteo de la pila "C"</i></p>
		

h. Una vez conformadas nuevamente las pilas de compostaje con los sistemas de tuberías insertos, se realizó la prueba del puño para determinar si estas contaban

con un nivel adecuado de humedad como se ve en las figuras 51-56. Cuando fue necesario se rectificó la humedad hidratando las pilas como se puede observar en la figura 57.

Muestreo de humedad de las pilas de compostaje		
<i>Figura 51: Muestreo de humedad pila "A"</i>	<i>Figura 52: Muestreo de humedad pila "B"</i>	<i>Figura 53: Muestreo de humedad pila "C"</i>
		
<i>Figura 54: Resultado del muestreo de humedad pila "A"</i>	<i>Figura 55: Resultado del muestreo de humedad pila "B"</i>	<i>Figura 56: Resultado del muestreo de humedad pila "C"</i>
		

Hidratación de las pilas

Figura 57: Rectificación de la humedad de las pila "A", a través de la hidratación

Considerando como día uno el día que se conformaron las pilas, tanto el monitoreo de temperaturas (pilas de compostaje y agua), así como el volteo de las pilas, se repitieron de manera periódica los días 5, 9, 13, 17, 20, 24, 27 y 31; completando las cuatro semanas destinadas al proceso de degradación de materiales y toma de muestras.

Posteriormente, se aplicó un análisis cuantitativo de los resultados obtenidos, hallando el promedio de temperatura final del agua alcanzada en el sistema de cada pila de compostaje, información que ayudó a determinar cuál de las tres variables obtuvo mejores resultados teniendo en consideración que el objetivo final es la obtención de agua caliente a una temperatura mayor a 40°C , para que esta sea apta para el aseo personal; para el procesamiento de los datos se utilizaron tablas e histogramas, donde se compararon los resultados obtenidos en las diferentes etapas del proceso de compostaje.

3.4.4 Determinación de la eficiencia del sistema para la obtención de agua caliente.

Para determinar la eficiencia del sistema se realizó un Balance Energético, aplicando la metodología de la Caja Negra o Black Box , donde se estudia un elemento, en base a las entradas y salidas o la respuesta que genera, así se observa el intercambio de calor entre el sistema de tuberías y el agua que pasará por él, ingresando agua fría y saliendo agua caliente, sin detallar el funcionamiento interno del proceso (Black box, 2016), ya que este se especificó en los otros puntos de la metodología.

Además, se halló la Energía Calorífica obtenida en el sistema, utilizando la fórmula:

Fórmula 03*Energía calorífica*

$$Q = M * C * \Delta T$$

Donde:

Q = La cantidad de energía calorífica perdida o ganada (J)

m = La masa de la sustancia (kg)

c = La capacidad calorífica específica de la sustancia (J/kg·°C)

ΔT = El cambio de temperatura de la sustancia (°C)

Fuente: Elaboración propia basada en (Feedback Networks Technologies (2013)

Así mismo se aplicó la siguiente fórmula para determinar la eficiencia del sistema (Vargas & Gavira, 2018):

Fórmula 04*Eficiencia térmica*

$$n = \frac{T^{\circ} \max - T^{\circ} \min}{T^{\circ} \max} \times 100$$

Fuente: Elaboración propia basada en (Vargas & Gavira, 2018)

Estas herramientas ayudaron a determinar si la tecnología para obtener agua caliente es una opción viable y factible para la obtención de agua caliente en zonas rurales.

3.4.5 Elaboración de una propuesta de implementación de una ducha pública en Canocota-Caylloma, utilizando la tecnología para obtener agua caliente.

El plan de implementación de una ducha pública para el aseo personal de la población de Canocota, se elaboró considerando la información recolectada tanto de fuentes secundarias como los datos obtenidos en la encuesta aplicada a una muestra representativa de los pobladores, y los resultados finales del proceso experimental realizado con un prototipo a pequeña escala del Sistema de obtención de Agua Caliente, la tecnología para obtener agua caliente en la presente investigación. Esta data fue procesada y analizada, facilitando la generación de una propuesta sólida y validada, para dar solución al problema de acceso a agua caliente, mejorando así la calidad de vida de la población, siendo este el tema de interés en el presente estudio.

Se consideraron los siguientes aspectos para la elaboración del plan:

- Situación actual de acceso a agua caliente y la predisposición de la población a la implementación de esta nueva tecnología en Canocota-Caylloma, Arequipa.
- Se propuso la implementación de la ducha pública en una zona accesible para toda la población, y que no representa un problema de intereses dentro de la comunidad.
- Para el dimensionamiento de la tecnología se tomó en consideración el total de habitantes de Canocota, determinando la cantidad de agua necesaria para que se cumpla de manera efectiva con la accesibilidad para toda la población, así como la cantidad de residuos que se necesitan para la conformación de las pilas.
- Se consideró un proceso de instrucción sobre el uso y mantenimiento de la tecnología, orientado a que los pobladores en un trabajo conjunto con las autoridades locales utilicen el sistema de forma sencilla, permanente, sostenible en el tiempo y replicable en otras comunidades.

Además, se desarrolló un Análisis Costo – Beneficio Ambiental, evaluando ambas variables, donde se compararon varias alternativas con la implementación de la energía propuesta.

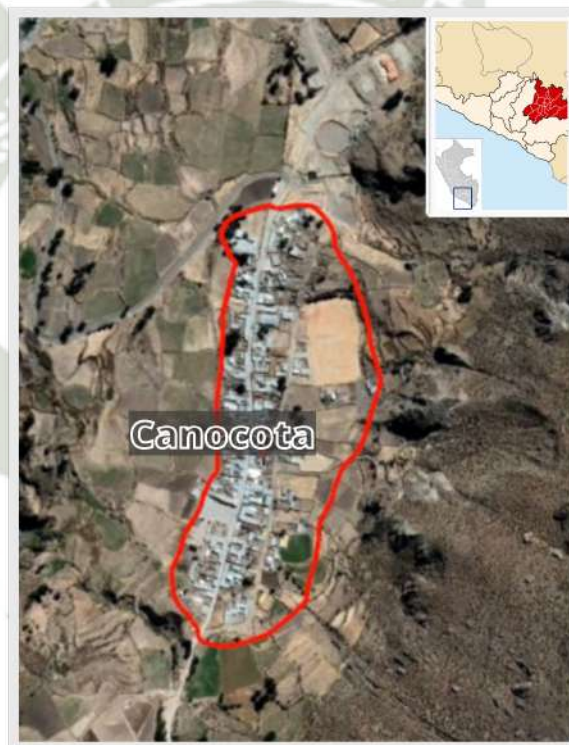
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Realizar el diagnóstico de las condiciones actuales, al año 2022, de acceso a agua caliente de la población de Canocota

4.1.1 Datos Generales

El pueblo de Canocota se encuentra ubicado en la sierra sur del Perú, en la provincia de Caylloma, región Arequipa, como se observa en la figura 58, con coordenadas 19 L 225197.40 m E 8278053.95 m S (UTM).

Figura 58: Mapa de la zona urbana de Canocota y ubicación de Caylloma en el mapa de Arequipa y Perú (esquina superior derecha)



Fuente: (Google Earth, 2022) y (Creative Commons, 2008)

Se encuentra a 3807 m.s.n.m. en la región natural Suni (INEI,2017), cuenta con un clima frío, seco templado y húmedo en época de lluvias, con temperaturas mínimas de 2°C y máximas 24°C, y una temperatura promedio de 3°C, siendo la estación más seca el invierno y el mes de junio el más frío y seco, y la estación más húmeda es el verano, siendo el mes de enero el más cálido y el mes de febrero el más lluvioso, alcanzando un promedio de lluvias de 87 mm/día en dicha estación

(SENAMHI, 2021). Aquí habitan 95 personas (INEI, 2017), donde a pesar de contar con un sistema de agua potable, la mayoría de los hogares no cuentan con acceso a agua caliente para diferentes usos, como el aseo personal, doméstico y productivo, esto afecta directamente la calidad de vida de la población, generando problemas económicos, ambientales y de salud.

4.1.2 Encuesta:

Para conocer de manera más cercana y utilizar data real, se realizó una encuesta a los pobladores de Canocota como herramienta de investigación.

4.1.2.1 Validación de encuesta:

Para iniciar el proceso de validación de la encuesta como instrumento de recopilación de datos, se elaboró una lista de profesionales expertos en las siguientes áreas:

- Gestión de Residuos Sólidos
- Compostaje
- Energías Renovables
- Condiciones de Vida en Zonas Rurales

Quienes fueron contactados a través de una Invitación Formal, enviada sus respectivos correos electrónicos, invitándolos a participar del proceso de Validación de la Encuesta, junto con este documento se les envió el link de acceso al Formato de Autoevaluación, elaborada en Google Forms (Anexo 02), donde calificaron el grado de experticia en una o varias de las áreas mencionadas.

Tabla 03*Resultados de la Autoevaluación del grado de experticia*

N°	Nombre	Profesión	Campo de conocimientos	Área de investigación	Coefficiente de Competencia (Kcomp)	Interpretación
1	Alexis André Laguna de la Gala	Antropólogo	Experto en comunidades rurales y vulnerables y Magister en desarrollo sostenible	Condiciones de Vida en Comunidades Rurales	1	Coefficiente de Competencia Alto
2	Clinton James Fandrich	Licenciado en Ciencias políticas	Experto en Desarrollo de Energías Renovables y gerente de Mundo Sostenible Consultores	Energías Renovables	0.8	Coefficiente de Competencia Alto
3	Renato Gonzalo Fernandez Peixoto	Ingeniero Agrónomo	Experto en compostaje y gerente de Plantum	Compostaje	0.9	Coefficiente de Competencia Alto
4	Jorge Valdivia Paredes	Ingeniero Alimentario	Experto en valorización de residuos orgánicos	Compostaje	0.9	Coefficiente de Competencia Alto
5	Jhonny Augusto Chomba Paredes	Biólogo	Experto en trabajo con comunidades rurales	Condiciones de Vida en Comunidades Rurales	0.9	Coefficiente de Competencia Alto
6	Mary Andrea Herrera Pinto	Ingeniera Ambiental	Ingeniera ambiental y Magister en Gestión Pública	Gestión de Residuos Sólidos	1	Coefficiente de Competencia Alto
7	José Adolfo Quisocola Condori	-	Fundador del Primer Eco Banco del Estudiante Bartselana, experto en gestión y valorización de residuos sólidos	Gestión de Residuos Sólidos	0.8	Coefficiente de Competencia Alto
8	Belen Stefanny Tejada Tumba	Ingeniera Ambiental	Experta en energías renovables	Energías Renovables	0.8	Coefficiente de Competencia Alto

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo a lo observado en los resultados de la Autoevaluación del grado de experticia (Tabla 03), y teniendo en cuenta que se necesita un mínimo de 7 evaluadores (Reguant-Álvarez & Torrado Fonseca, 2016), al ser una encuesta con preguntas de diversas áreas, se consideraron 8 de los 10 expertos invitados, quienes alcanzaron además puntajes considerables en la determinación del Coeficiente de Competencia (Kcomp). Dentro de los expertos seleccionados para realizar el proceso de calificación de las preguntas de la encuesta, se consideraron 2 expertos para cada una de las áreas abarcadas en las preguntas de la encuesta.

Los expertos seleccionados fueron contactados nuevamente a través de un correo electrónico, por donde se les envió el link del Formato de Evaluación para la Calificación de Preguntas de la Encuesta, elaborada en Google Forms (Anexo 03), donde calificaron cada una de las preguntas utilizando la Escala de Likert, puntuando del 0 al 5, donde “0” es nada relevante y “5” es totalmente relevante (Reyes & Liñán, 2018).

Gráfico 01

Validación de encuesta a través de la calificación de preguntas utilizando la escala de Likert



Fuente: Elaboración Propia basada en el Anexo 05

Como se observa en el Gráfico 01, de acuerdo al criterio y experticia de cada uno de los 8 expertos que evaluaron la relevancia de las preguntas utilizando la escala de Likert, la mayoría de las mismas fueron calificadas con una puntuación promedio de 5 (totalmente relevante), a excepción de las preguntas N°1 y N°12, que se puntuaron en promedio con 4 (muy relevante).

Estos resultados, nos indican que las preguntas elaboradas para el instrumento de recopilación de datos, la encuesta, alcanza una valoración adecuada del formulario, con calidad estética y validez del formato (Aguilar Gavira & Barroso Osuna, 2015). La aplicación de esta nos ayudará a obtener la información necesaria para conocer la realidad actual de la población de Canocota-Caylloma, considerando tanto el acceso a agua caliente, como el conocimiento con el que cuentan para la efectiva implementación de la tecnología propuesta en esta investigación y como esta se adaptaría mejor a las necesidades de la población. Dicha información, es relevante ya que nos permitirá diseñar una tecnología de fácil manejo y replicabilidad, considerando las condiciones sociales, ambientales y económicas del lugar.

Debido a que la media de calificación alcanzada en todas las preguntas supera el 75% (3.75 puntos), ninguna tuvo que ser descartada, ni se tuvo que reformular la encuesta (Reyes & Liñán, 2018), por lo que se procedió a realizar el cálculo de la muestra de población a ser encuestada.

Se aplicó la fórmula estadística, indicada en la metodología, para determinar el tamaño de la muestra de encuestados para que esta sea representativa, obteniendo una cifra de 60 personas a encuestar.

Para la aplicación de esta encuesta se realizó una visita presencial a Canocota el día 18 de enero del 2022, donde se encuestó al número indicado de personas, quienes mostraron interés por el proyecto planteado. Para el desarrollo de la aplicación de la encuestas se realizaron las preguntas generales, acceso a servicios básicos, generación de residuos y conocimiento sobre el compostaje, finalmente, se

explicó la tecnología propuesta en esta investigación a los pobladores, para que pudieran indicar su predisposición a que esta se implemente y cual sería el medio por el que les gustaría tener acceso al agua caliente. De este modo, al considerar esta fase como la final de la encuesta, garantizamos que las respuestas obtenidas en las preguntas anteriores no se vean influenciadas por la propuesta realizada, por lo que no se indujo una respuesta positiva a las últimas preguntas.

Luego del proceso de encuestado retornamos a la ciudad de Arequipa, donde se digitalizaron las respuestas obtenidas que se exponen en los cuadros y gráficos presentados a continuación.

Tabla 04
Resultados de los datos generales y pregunta 1 de la encuesta aplicada en Canocota, Caylloma

N° total de personas encuestadas	Edad (rango de edades)			Sexo (personas encuestadas)		N° de personas por casa (personas)		
	Juventud 16-26	Adulthood 27-59	Vejez 60-81	Femenino	Masculino	1-2	3-4	5 a +
60	21	28	11	41	19	15	19	26

Fuente: Elaboración propia basada en el Anexo 02

La mayor parte de la población encuestada se encuentra dentro del rango de edad de 27 a 59 años, o adultez, con una porcentaje mayor de mujeres, quienes nos indicaron que la mayoría de los hogares cuentan con cinco a más habitantes como se muestra en la Tabla 03; Se debe tener en consideración que muchas de las personas encuestadas pueden vivir en la misma casa, ya que durante la encuesta algunos pobladores de encontraban en sus hogares, en la calle, trabajando en el campo, etc., por lo que no se pudo determinar con precisión el parentesco entre los mismos.

Gráfico 02

Resultados de las preguntas 2-5 de la encuesta aplicada en Canocota, Caylloma



Fuente: Elaboración propia basado en Anexo 06

En el Gráfico 02 se puede observar que el 100% de los encuestados señaló que cuenta con suministro de agua, así mismo, el 80% cuenta con baño propio, sin embargo, solo un 27% cuenta con ducha. Finalmente, en la pregunta N°5, considerada una de las más relevantes para la investigación, ya que nos muestra la necesidad de la implementación de la tecnología planteada, se observa que solo el 3% de la población cuenta con agua caliente en sus hogares.

Esto quiere decir que un 97% de la población de Canocota se encuentra desabastecida de agua caliente para el aseo personal y doméstico, realidad que se repite en gran parte de las zonas rurales, sobre todo en zonas con nivel socioeconómico C, de acuerdo con el estudio realizado por (Condori Cutipa & Asqui Castellanos, 2018), en la Comunidad de Kunurana-Puno, donde se halló que el agua caliente es una de las últimos servicios cubiertos, con uso muy bajo de termas y duchas eléctricas .

Gráfico 03

Resultados de la pregunta 6 de la encuesta aplicada en Canocota, Caylloma



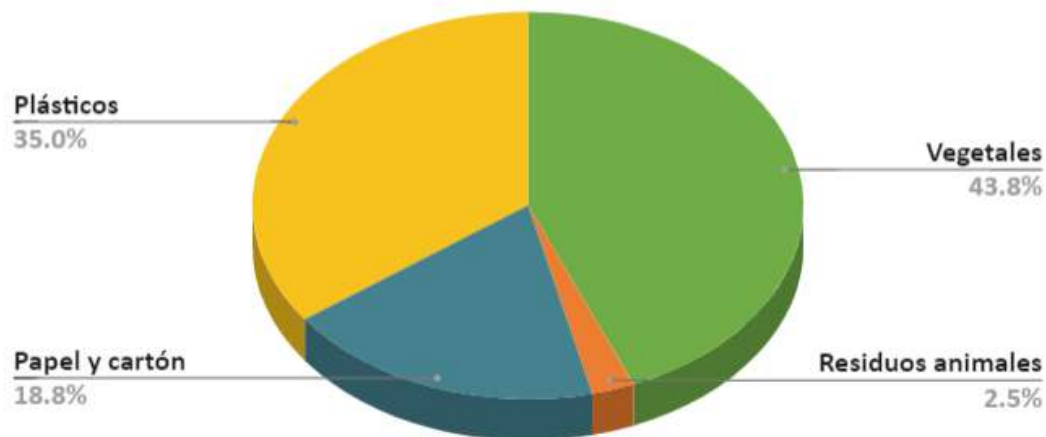
Fuente: Elaboración propia basada en Anexo 06

Como se observa en el Gráfico 03, dentro del porcentaje de población que no tiene cubierto el acceso a agua caliente, se aplican diferentes métodos para poder realizar el aseo personal, siendo los más resaltantes el calentar agua en baldes colocándolos en el exterior o techo de las viviendas donde estén en contacto directo con los rayos del sol durante la mañana y los viajes hasta la localidad de Chivay para el uso de las duchas públicas de los Baños Termales La Calera, cuyo funcionamiento regular se vio afectado por el Estado de Emergencia dictaminado por el Gobierno Central para controlar el contagio de COVID-19 durante los años 2020-2022.

Gráfico 04

Resultados de la pregunta 7 de la encuesta aplicada en Canocota, Caylloma

¿Cuáles son los principales residuos generados en su hogar?

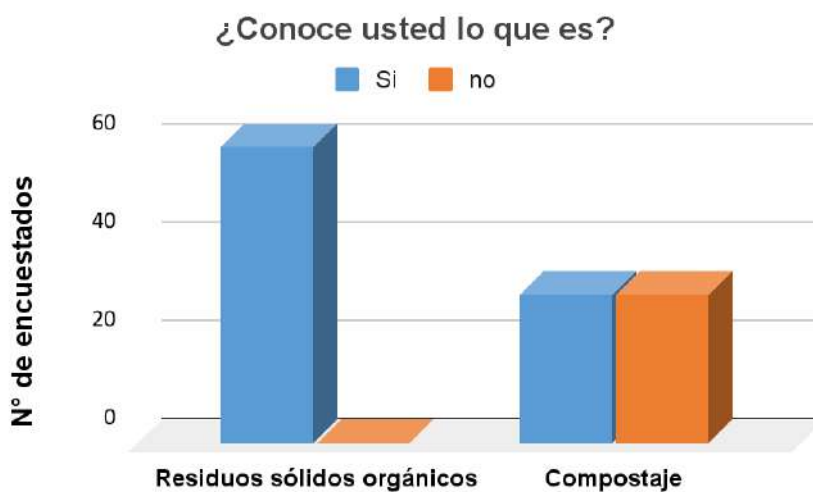


Fuente: Elaboración propia basado en Anexo 06

Se puede observar en el Gráfico 04, que dentro de la generación de residuos, se preguntó a los pobladores cuales son los principales residuos generados en su hogar, a lo cual la mayoría respondió que son restos vegetales crudos de cocina.

Gráfico 05

Resultados de las preguntas 8 y 9 de la encuesta aplicada en Canocota, Caylloma



Fuente: Elaboración propia basada en Anexo 06

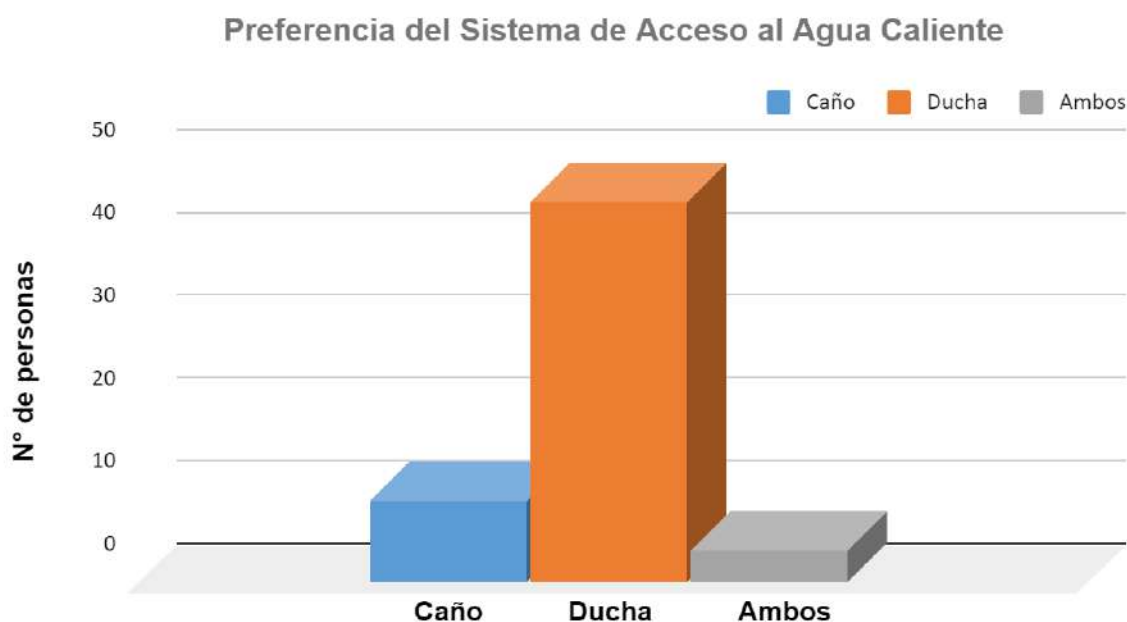
Un 100% declaró que sabía lo que son los residuos sólidos orgánicos, a diferencia de los resultados obtenidos por Baque Quimis (2015), donde un 34% de los encuestados determinó que no sabía qué son los residuos orgánicos. Mientras que el término “compostaje” fue identificado de manera correcta por el 63% de los encuestados, a diferencia de los resultados obtenidos en la presente investigación, donde solo este término solo fue de conocimiento del 50% de los pobladores encuestados como se puede ver en el Gráfico 05.

Tabla 05
Resultados de las preguntas 10 y 11 de la encuesta aplicada en Canocota, Caylloma

Total de personas encuestadas	Predisposición para la implementación (% de personas encuestadas)	Negativa ante la implementación por diversos motivos (% de personas encuestadas)
60	100%	0%

Fuente: Elaboración propia basada en Anexo 06

Gráfico 06
Resultados de la pregunta 12 de la encuesta aplicada en Canocota, Caylloma



Fuente: Elaboración propia basada en Anexo 06

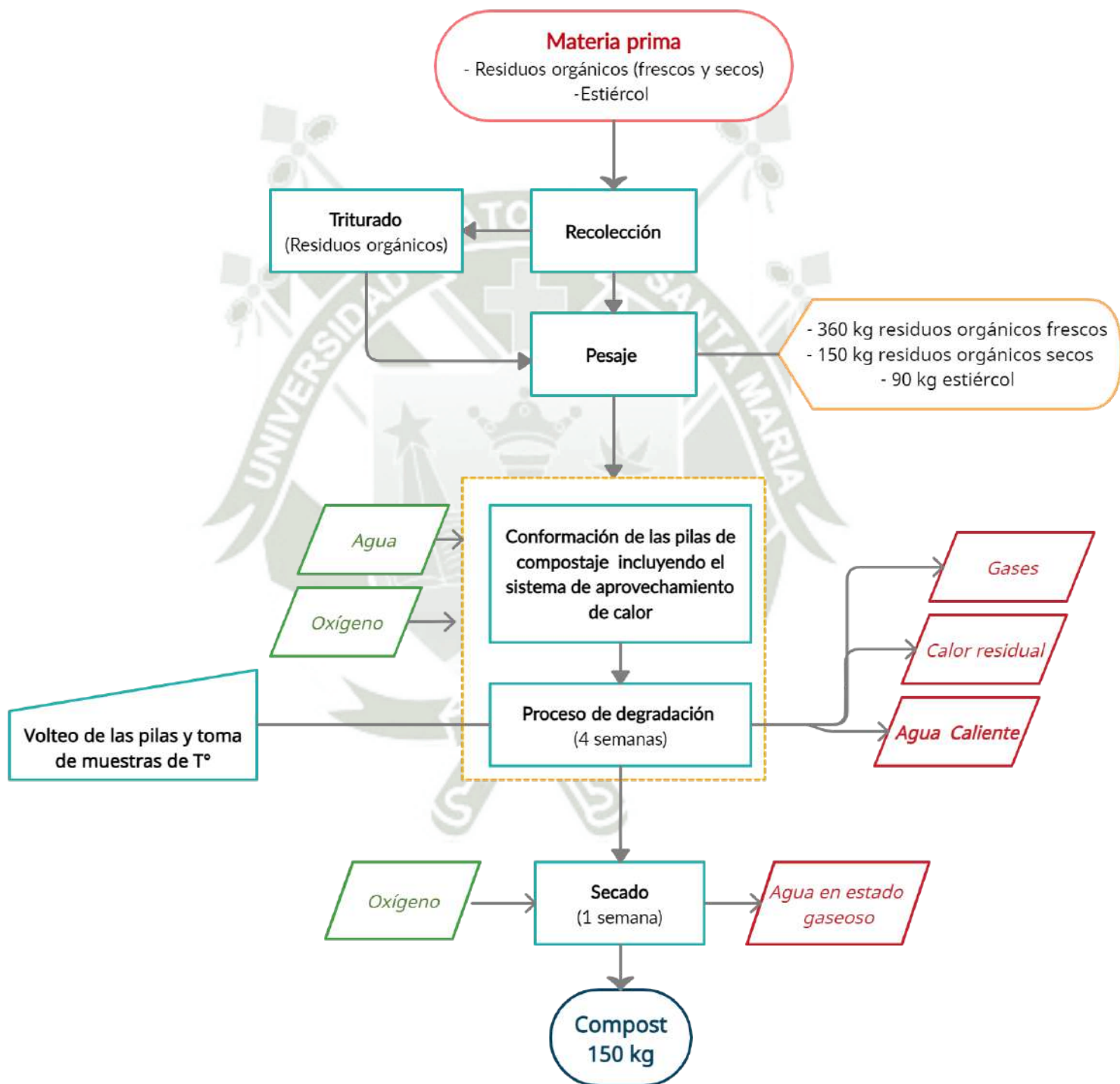
De acuerdo a los resultados presentados en la tabla 04, se sostiene que el 100% manifestó una alta predisposición para la implementación de la tecnología para obtener agua caliente, luego de que explicamos el funcionamiento y beneficios del mismo, sin encontrar una negativa por parte de ningún poblador encuestado, quienes declararon en su mayoría que preferirían tener acceso al agua caliente a través de una ducha como se observa en el Gráfico 06, ya que su prioridad es el aseo personal. Debemos resaltar, como indica González Cubillo (2021), que estas respuestas se obtuvieron a partir del punto de vista y percepción de los pobladores participantes.

En base a la data obtenida, se obtuvo datos reales para un correcto análisis de ésta que ayudará a mejorar la calidad de vida de los pobladores de Canocota a través del acceso a agua caliente, como lo demostró Espinoza Cadenillas (2022), quien desarrolló una propuesta de un sistema termosolar para obtener agua caliente en Cajamarca, donde gracias a los resultados se determinó que es posible disminuir el costo de obtención de agua caliente, a través de tecnologías limpias y replicables.

Teniendo en consideración que se cuenta con la materia prima necesaria (residuos orgánicos) y la predisposición de la población, siendo un punto muy importante para la aplicación de la tecnología, se determina que las etapas de capacitación, implementación y manejo del sistema podría desarrollarse con éxito.

4.2 Diseño del prototipo a pequeña escala del Sistema de obtención de Agua Caliente

Figura 59
Flujograma del diseño del sistema



Fuente: Elaboración propia basada en (Caiza & Córdor, 2016).

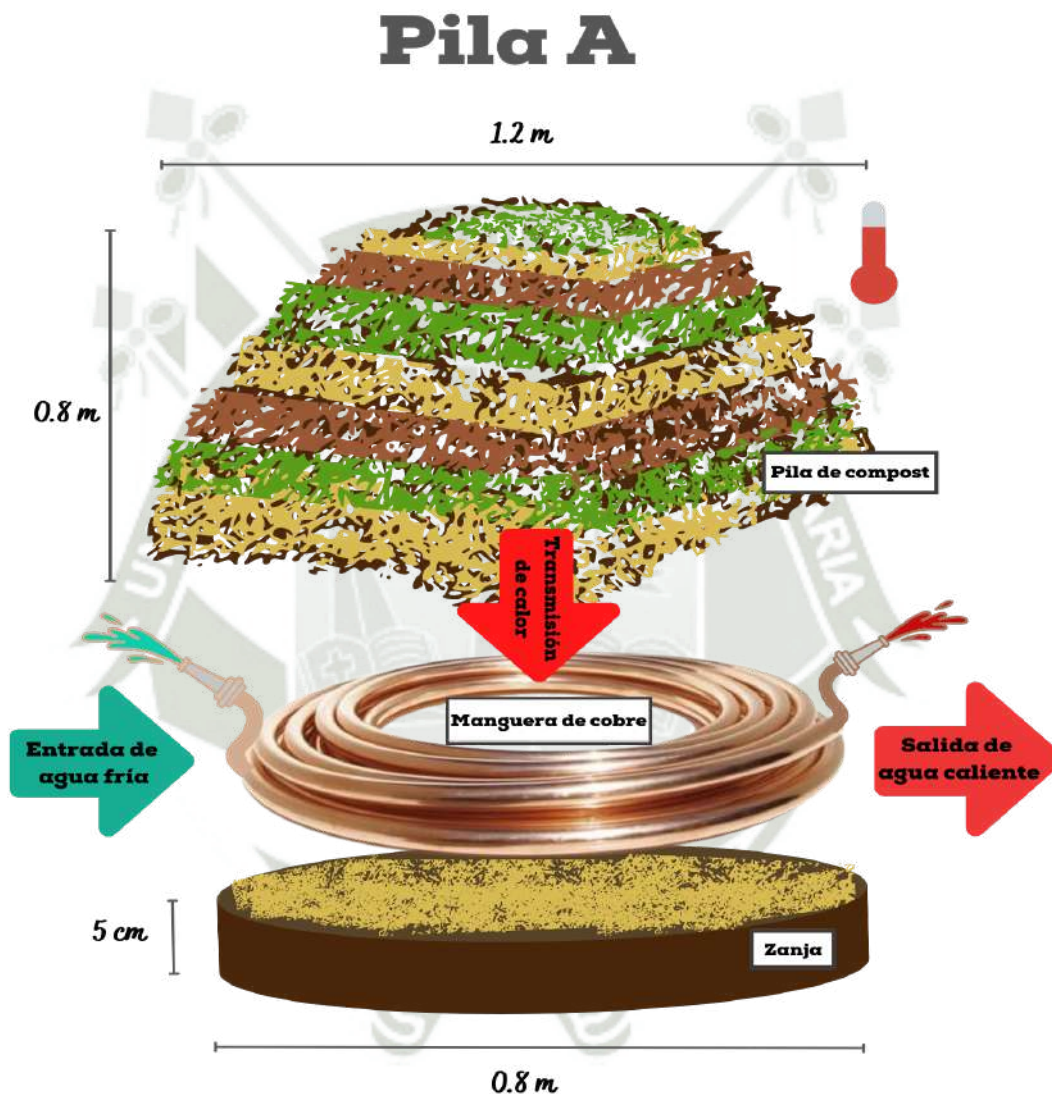
Se diseñó el prototipo de tecnología para obtener agua caliente como se puede ver en el flujograma en la figura 59; Se consideró el proceso de compostaje como un conjunto de operaciones y subproductos obtenidos de las diversas materias primas que ingresan al sistema, teniendo en cuenta el control de parámetros como temperatura y humedad para obtener como producto final el compost, como indican Caiza y Córdor (2016). A este proceso básico de compostaje se añadió el sistema de tuberías para el aprovechamiento del calor generado durante el compostaje, determinando además las cantidades de materia prima que se utilizó, los tiempos de cada etapa y el subproducto obtenido en el aprovechamiento, siendo este, agua caliente.

Se escogió el cobre como material de las tuberías por su alta conductividad, soporte a altas temperaturas y por ser un material reciclable, ya que no sufre pérdidas en su rendimiento, además, el reciclaje de cobre genera un menor impacto ambiental en comparación al proceso de extracción minera, reduciendo de manera considerable las emisiones de dióxido de azufre (SO₂), dióxido de carbono (CO₂), la generación de residuos sólidos, el consumo de agua y energía (Herrera, 2015).

Se diseñaron 03 sistemas tecnología para obtener agua caliente para evaluar la eficiencia de cada uno en la obtención de agua caliente, la variable estuvo determinada por la forma y posición del sistema de tuberías de cobre inserto en cada una de las pilas. El sistema de tuberías debe encontrarse enterrado o en contacto directo con el material a compostar para el aprovechamiento eficiente de la energía calorífica generada durante el compostaje. Estos sistemas de tuberías se diseñaron en forma de serpentín, ya que como vemos en la investigación de Caiza y Córdor (2016), esta forma es considerada la mejor en intercambiadores de calor, además de ser económico, ya que nos permite utilizar menos material y abarcar una mayor superficie de contacto; por otro lado, los serpentines se pueden introducir y retirar con facilidad de las pilas de compost para poder realizar el volteo. Para los tres prototipos del Sistema de Obtención de Agua Caliente se utilizaron dos formas diferentes de serpentín, teniendo como resultado: un serpentín plano en la base de la pila "A" (como se observa en la figura 60), un serpentín plano en el medio de la pila "B" (como

se observa en la figura 61), y un serpentín cilíndrico desplegado desde la base hasta la parte superior de la pila "C" (como se observa en la figura 62).

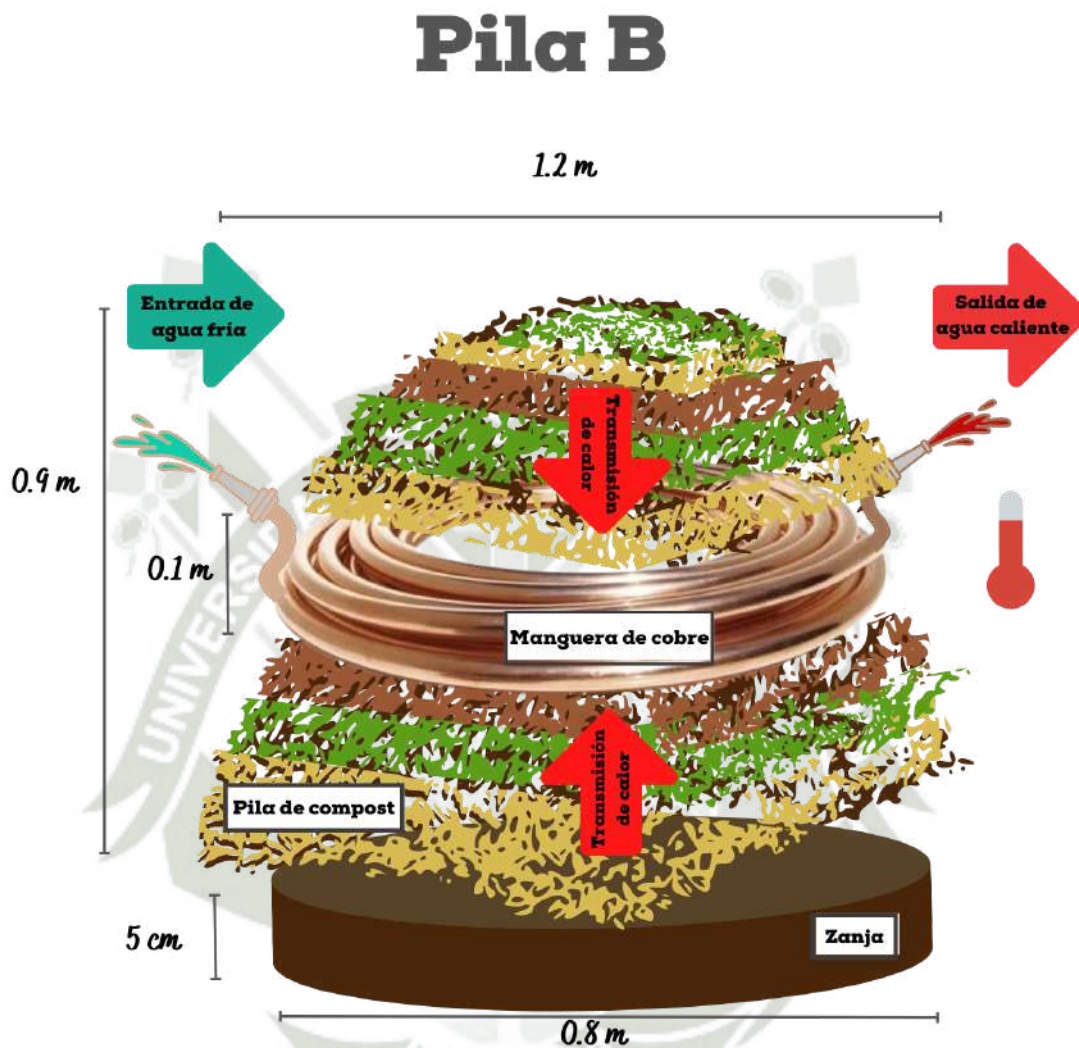
Figura 60
Sistema de Obtención de Agua Caliente pila "A"



Fuente: Elaboración propia basada en (Caiza & Córdor, 2016)

Se diseñó el sistema de la pila "A", insertando el sistema de tuberías para el aprovechamiento del agua caliente en forma de espiral plano, ubicándolo en la base de la pila de compostaje, en contacto directo con el material, como se observa en la figura 60.

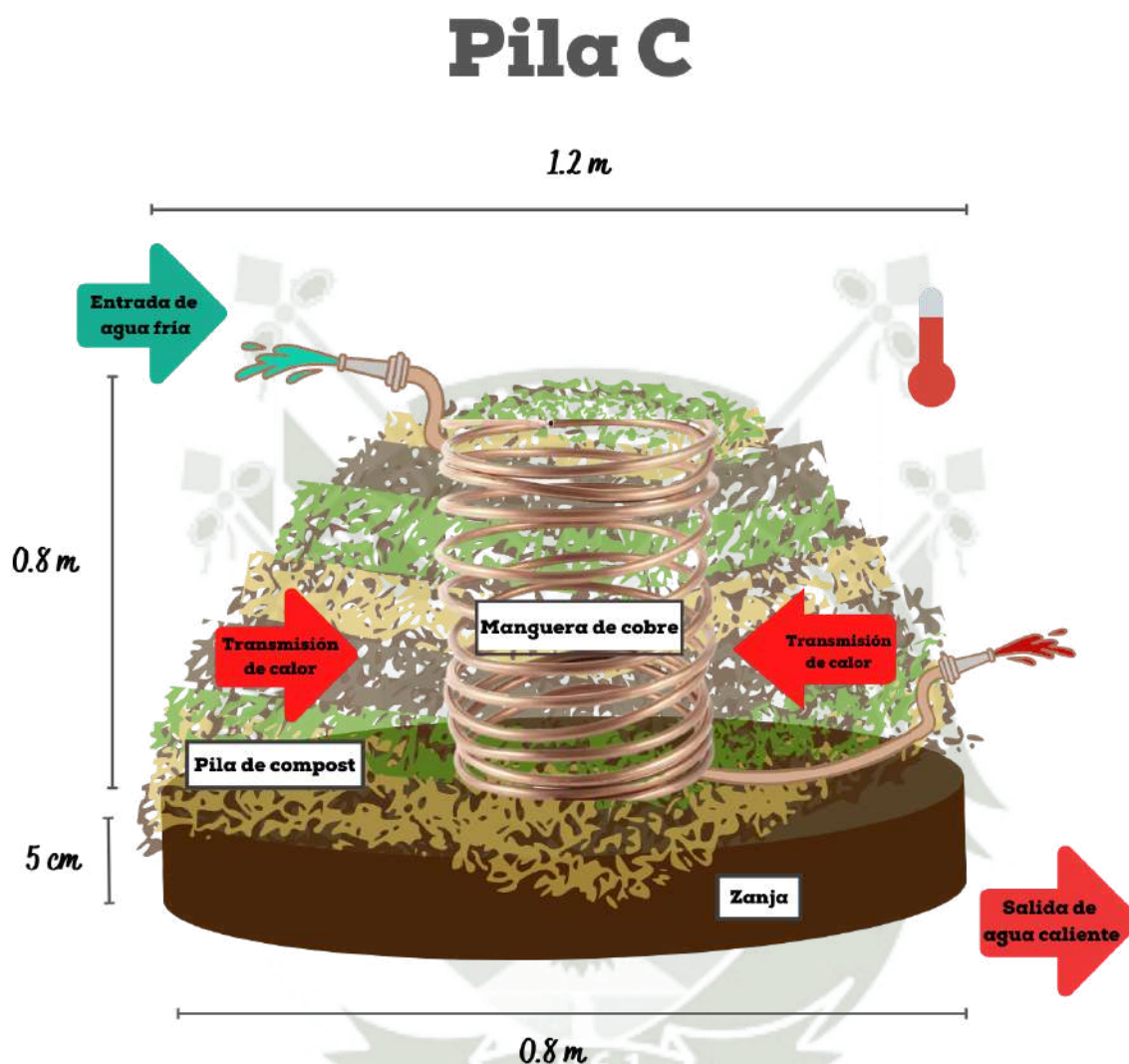
Figura 61
Sistema de Obtención de Agua Caliente pila "B"



Fuente: Elaboración propia basada en (Caiza & Córdor, 2016)

Se diseñó el sistema de la pila "B", insertando el sistema de tuberías para el aprovechamiento del agua caliente en forma de espiral plano, ubicándolo en el medio de la pila de compostaje, en contacto directo con el material, como se observa en la figura 61.

Figura 62
Sistema de Obtención de Agua Caliente pila "C"



Fuente: Elaboración propia basada en (Caiza & Córdor, 2016)

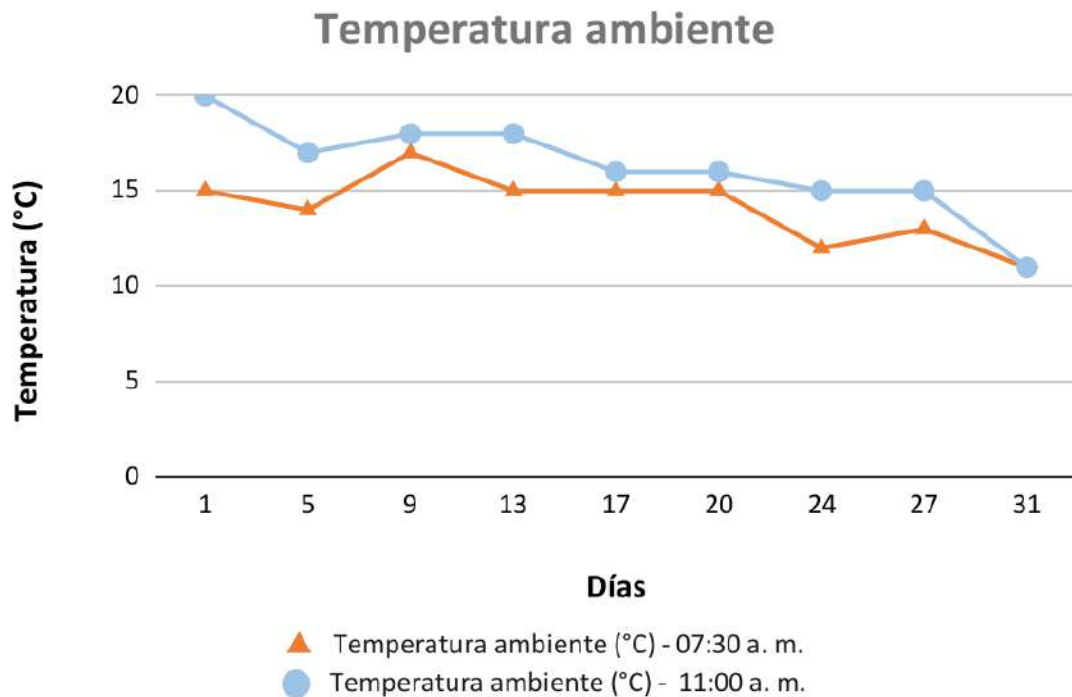
Se diseñó el sistema de la pila "C", insertando el sistema de tuberías para el aprovechamiento del agua caliente en forma de espiral cilíndrico, desplegándose desde la base hasta la parte superior de la pila de compostaje, en contacto directo con el material, como se observa en la figura 62.

4.3 Implementación del prototipo a pequeña escala del sistema para la obtención de agua caliente

4.3.1 Resultados proceso experimental del prototipo a pequeña escala

Gráfico 07

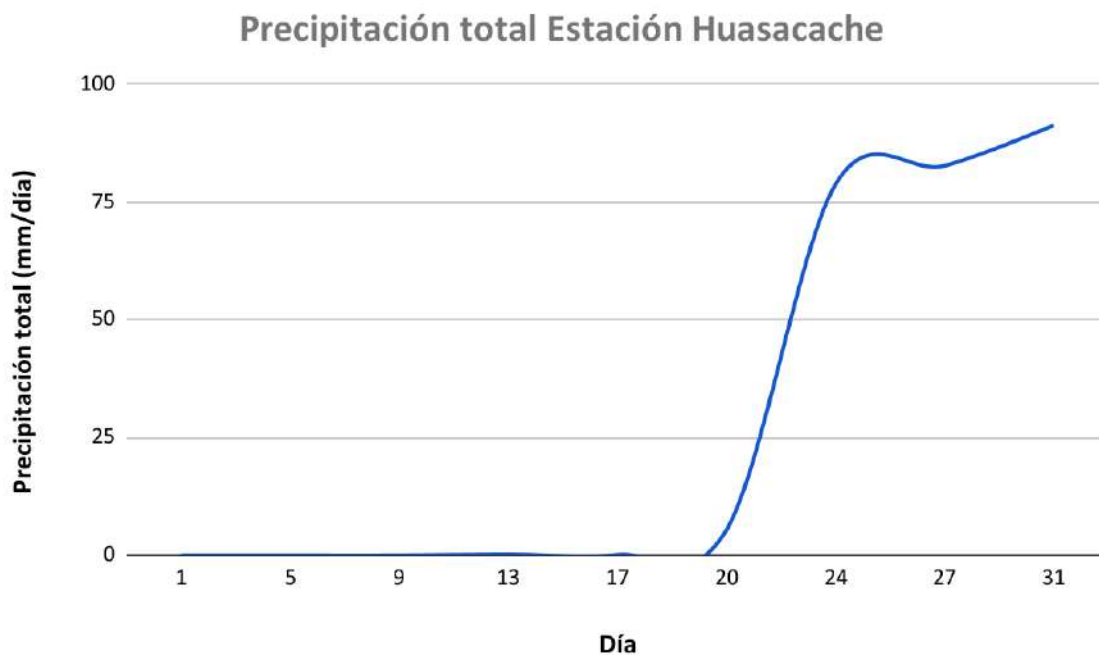
Temperatura ambiente durante la etapa experimental



Fuente: Elaboración propia basado en el Anexo 07

Como se puede observar en el Gráfico 07, no hubo variaciones extremas de temperatura durante las horas de muestreo, teniendo un máximo de 20°C y una mínima de 11°C, con un promedio general de 16°C durante todo el proceso. Las temperaturas ambiente consideradas, presentan valores adecuados para la estación de verano, donde se realizó la etapa experimental, de acuerdo a los datos registrados en años previos (SENAMHI, 2018).

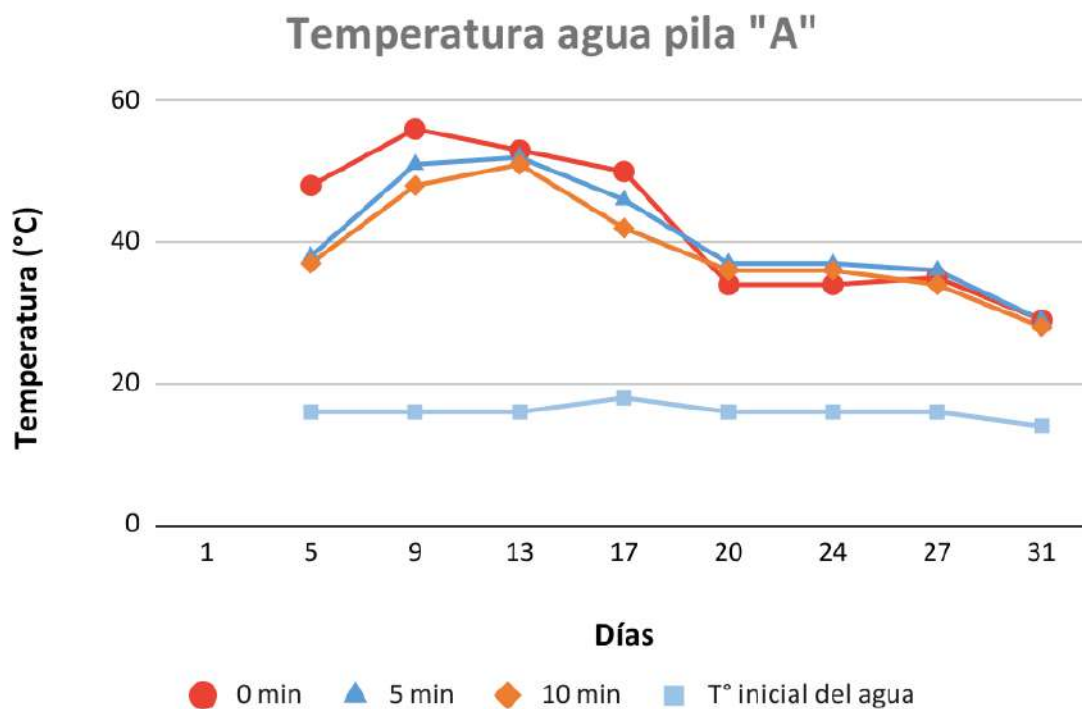
Gráfico 08
Precipitación total durante la etapa experimental



Fuente: Elaboración propia basada en el Anexo 07

En el Gráfico 08 podemos observar la presencia de precipitación mínima durante los primeros 15 días y un aumento en los últimos días de la etapa experimental, teniendo un promedio general de 29 mm/día; esta cifra es adecuada para la estación de verano, cuando se realizó la etapa experimental, alcanzando un valor de acuerdo a los registrados en los años previos (SENAMHI, 2018).

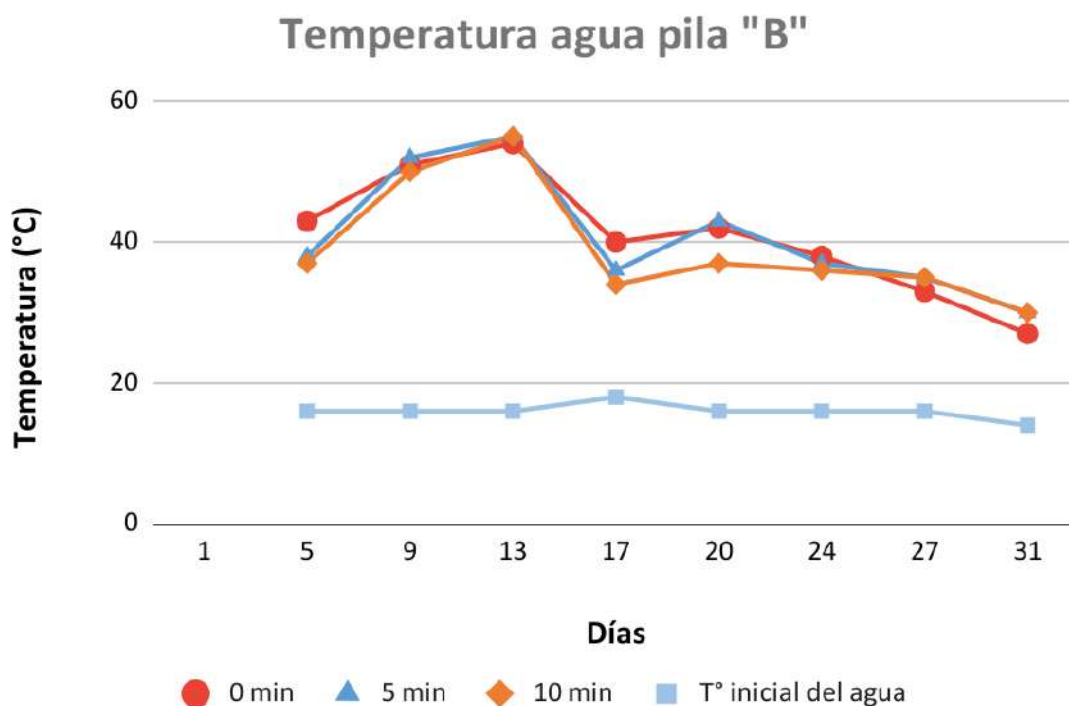
Gráfico 09
Fluctuación de la temperatura del agua obtenida del sistema de la pila "A"



Fuente: Elaboración propia basado en el Anexo 07

En el caso de la fluctuación de la temperatura del agua obtenida en el sistema de la pila "A", observamos que las temperaturas más altas se obtuvieron con retención de 0 minutos y la máxima temperatura se obtuvo en el día, como se muestra en el Gráfico 09.

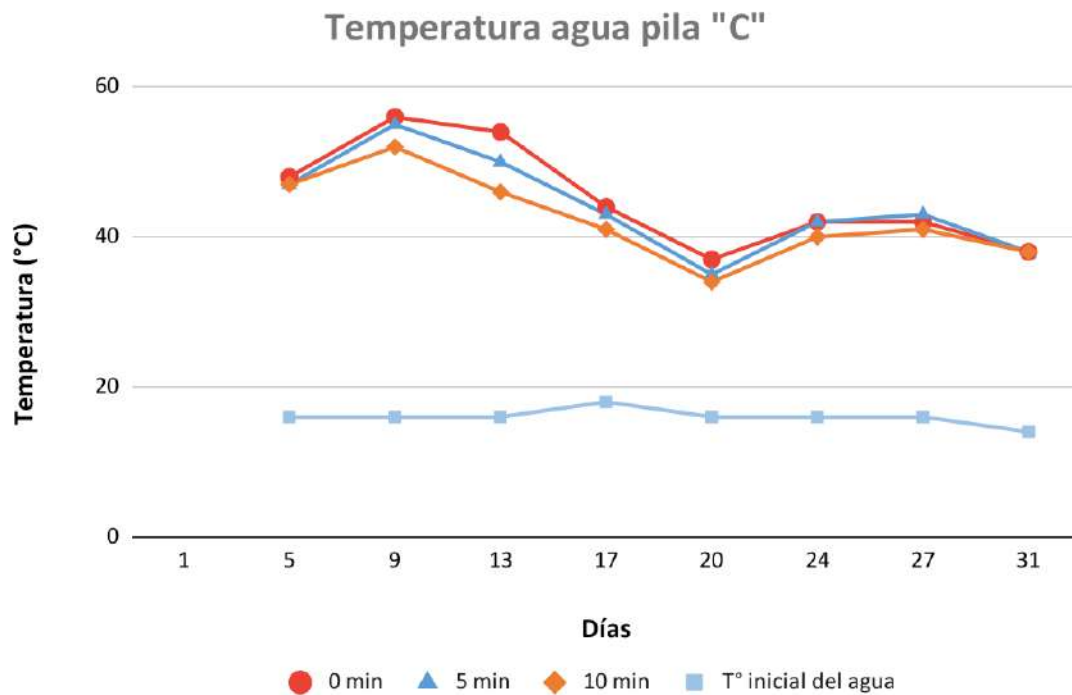
Gráfico 10
Fluctuación de la temperatura del agua obtenida del sistema de la pila "B"



Fuente: Elaboración propia basada en el Anexo 07

Como se puede observar en el Gráfico 10 de la pila "B", se puede determinar que las temperaturas más elevadas se consiguieron con retención 0 y 5 minutos y la temperatura máxima alcanzada fue en el día 13.

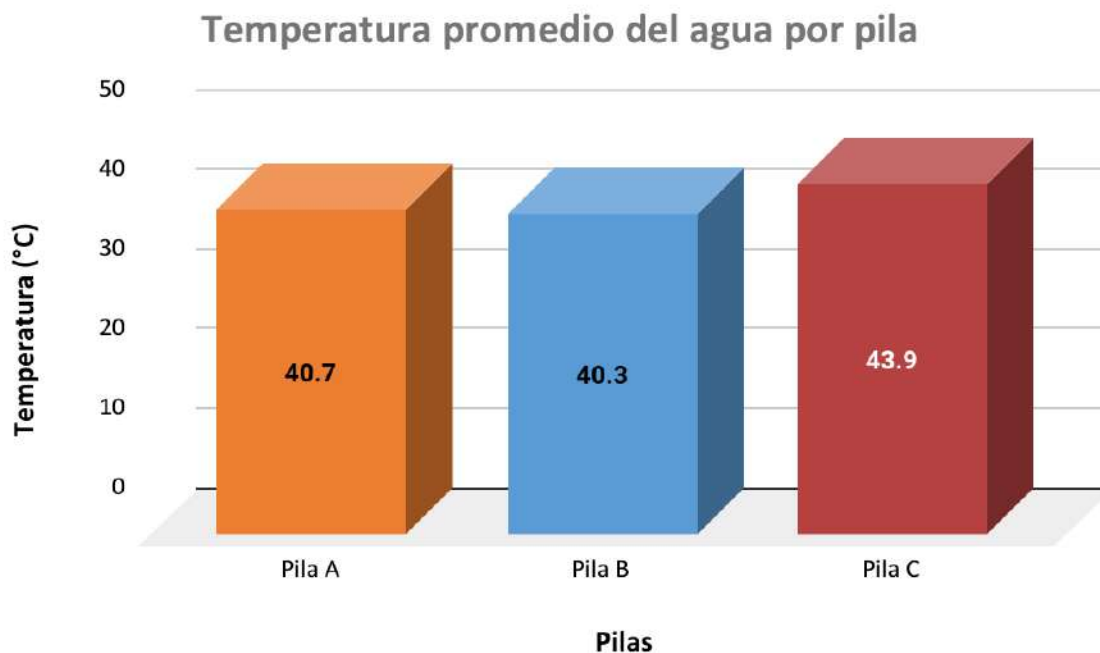
Gráfico 11
Fluctuación de la temperatura del agua obtenida del sistema de la pila "C"



Fuente: Elaboración propia basado en el Anexo 07

En cuanto a la variación de la temperatura del agua en el sistema integrado de la pila "C", se puede observar que las temperaturas más elevadas se obtuvieron con una retención de 0 minutos, siendo la temperatura máxima alcanzada la del día 9, como se muestra en el Gráfico 11.

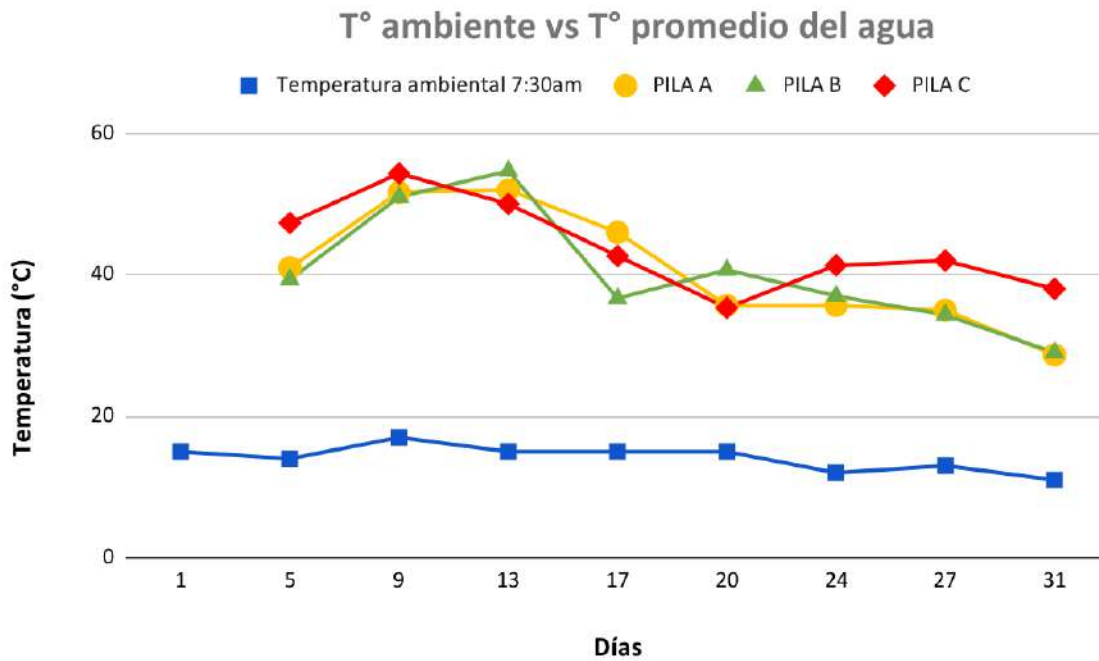
Gráfico 12
Promedio de la temperatura del agua alcanzada por pila



Fuente: Elaboración propia basada en el Anexo 07

De acuerdo a los resultados del Gráfico 12, podemos ver las temperaturas promedio del agua obtenidas en las tres pilas, donde se observa que la temperatura de la pila "C" es la más elevada, en comparación de las temperaturas del agua obtenidas en los sistemas de tuberías integrados en las pilas A y B.

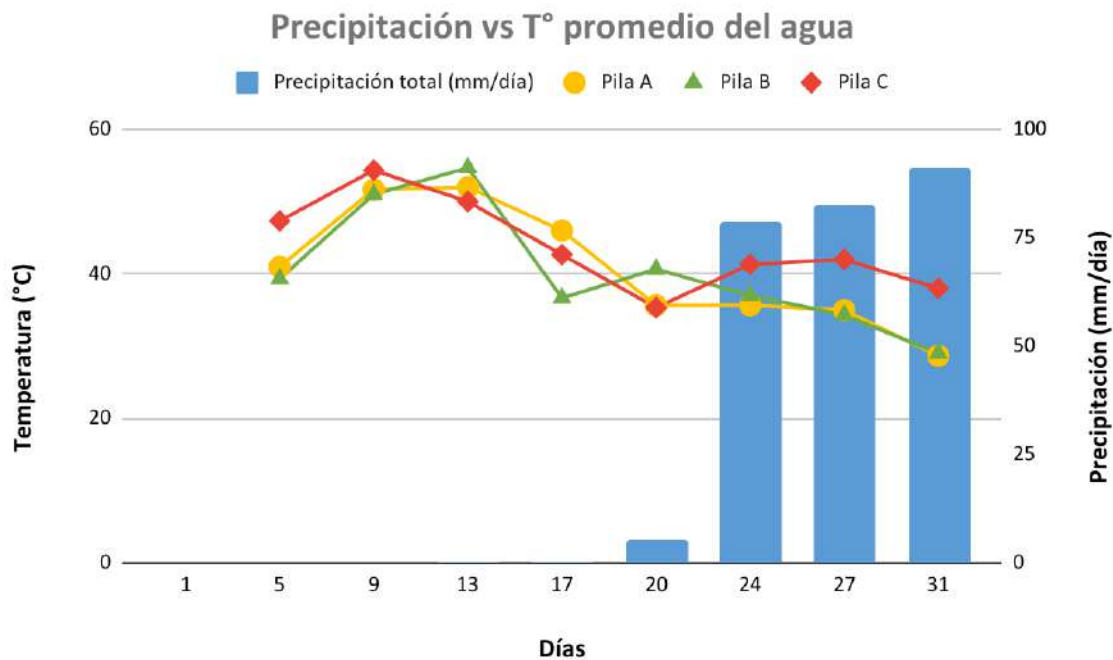
Gráfico 13
Temperatura ambiente vs temperatura promedio del agua por pila



Fuente: Elaboración propia basado en el Anexo 07

Como se puede observar en el Gráfico 13, la temperatura ambiente no tuvo una variación significativa, con un promedio general de 16°C, por lo que determinamos que no afectó directamente a la temperatura del agua.

Gráfico 14
Precipitación y temperatura promedio del agua por pila



Fuente: Elaboración propia basada en el Anexo 07

En el Gráfico 14, se determinó que no hay influencia directa de la presencia de precipitación sobre la temperatura del agua, alcanzada en los sistemas evaluados. Así mismo, se puede observar que en el caso de la pila "C", las temperaturas aumentaron ligeramente incluso con el incremento de las precipitaciones.

Como se observó en los Gráficos (09-11), las temperaturas obtenidas del agua que sale de los sistemas lograron alcanzar los valores esperados, teniendo una temperatura máxima de 56°C en el día 9 y una mínima de 27°C en el día 31, con un promedio general de 42°C, con un incremento promedio de 26°C, siendo la temperatura inicial 16°C. Estos resultados son similares a los obtenidos por Seki et al. (2014) y por Caiza y Córdor (2016), quienes desarrollaron un prototipo para la obtención de agua caliente con fines de uso doméstico, empleando un radiador como sistema de tuberías inserto en la pila de compostaje, donde durante la etapa experimental alcanzaron valores de temperatura del agua en un rango

entre 28°C - 30°C, con una temperatura inicial de 20°C, en el día 11 de la etapa de compostaje y con un tiempo de retención de 0 minutos.

Además, se observó en el Gráfico 13, la fluctuación de la temperatura ambiente no influyó de manera directa en la temperatura de las pilas ni del agua obtenida al final del sistema; del mismo modo, en el Gráfico 14 se observa que, a pesar de la presencia de precipitaciones, llegando a 91.3 mm/día, no se registraron variaciones significativas en la temperatura de las pilas ni en la temperatura del agua obtenida al final del sistema, ya que la fluctuación de estas temperaturas se presentó de acuerdo a lo esperado por la etapa de compostaje en la que se encontraban las pilas, a diferencia de lo que indican (Rojas Pérez & Zeledón Vílchez, 2007), quienes detectaron una baja de la temperatura de las pilas debido a la presencia de altas precipitaciones, que alcanzaron valores de 217.5 mm/día. Sin embargo el control de la humedad es un factor importante para el proceso del compostaje ya que tiene que estar dentro del 50-70% de humedad para que el crecimiento de los microorganismos sean óptimos (Chávez Cadena & Tréboles Guanoluisa, 2023) de lo contrario un exceso de esto crearía una condiciones de anaerobiosis que haría que se retrase el proceso generando malos olores y lixiviados (Santana & Wilson, 2019).

Se resolvió, de acuerdo a lo expuesto en el Gráfico 12, que el sistema que permitió alcanzar las más altas temperaturas del agua, fue el sistema de tuberías inserto en la pila "C", el cual contó con una forma de espiral cilíndrico, lo que permitió que este entrara en contacto con más capas del material en compostaje y aprovechará el calor desde la parte superior de la pila, por donde ingresó el agua fría, hasta la base de la misma, por donde salió el agua caliente, concorde con lo detallado por (Guiza Florez, 2018), donde indican que las tuberías de cobre dispuestas en espiral tienen una mayor área de convección entre los fluidos, en el caso del espiral helicoidal o espiral cilíndrico, se detalla que este permite obtener energía de calidad y de forma eficiente .

Del mismo modo, el tiempo de retención en el que se alcanzaron temperaturas del agua más elevadas fue 0 minutos (Gráficos 09-11), ya que al pasar el agua por primera vez dentro del sistema de tuberías inserto, se transfirió el calor acumulado en las tuberías de

cobre hacia el agua de manera más eficiente como lo comprueba Nwanze y Clark, 2019 y a diferencia de los ensayos en 5 y 10 minutos, que se hicieron posteriormente, donde el calor acumulado fue menor.

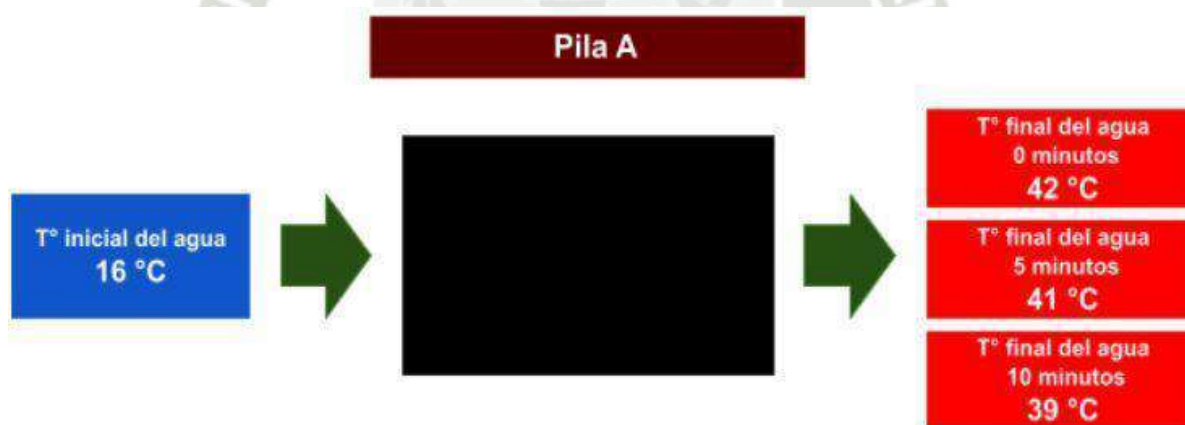
A pesar de determinar el sistema de la pila "C" y el tiempo de retención de 0 minutos como los más eficientes, se debe tener en cuenta que, tanto los resultados obtenidos en los sistemas de las pilas A y B, y en los tiempos de retención de 5 y 10 minutos no dejaron de ser eficientes para el propósito de la investigación.

4.4 Determinación la eficiencia del sistema

4.4.1 Balance Energético

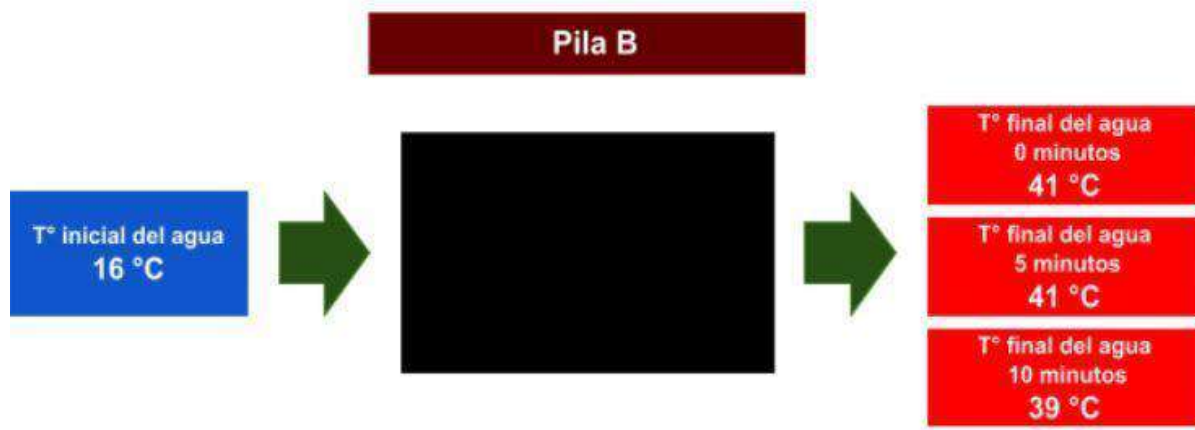
Figura 63

Caja negra del balance energético en el sistema de la pila "A"



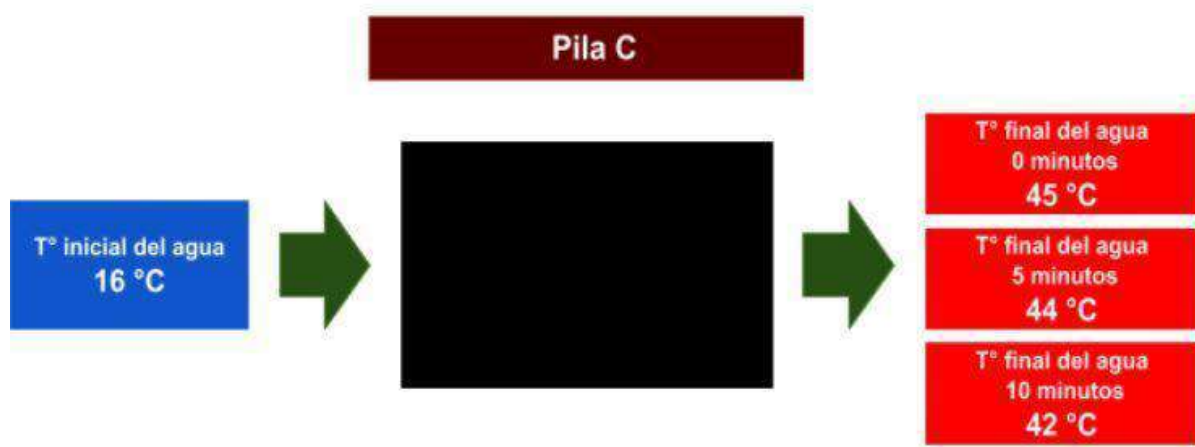
Fuente: Elaboración propia basada en el Anexo 08

Figura 64
Caja negra del balance energético en el sistema de la pila "B"



Fuente: Elaboración propia basada en el Anexo 09

Figura 65
Caja negra del balance energético en el sistema de la pila "C"



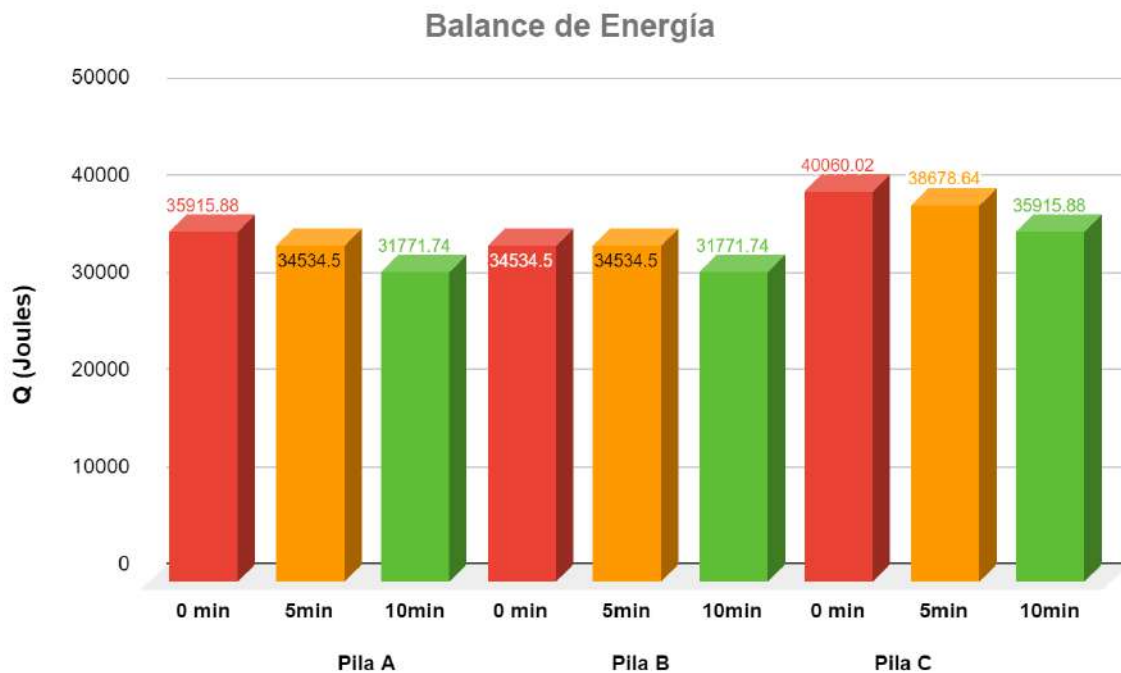
Fuente: Elaboración propia basado en el Anexo 10

Como se observa en los diagramas superiores (figuras 63-65), las temperaturas promedio de cada pila fueron, pila "A" 41°C, pila "B" 40°C y pila 44°C, con un promedio total de 42°C, teniendo en cuenta que la temperatura promedio inicial fue de 16°C, podemos determinar que la diferencia de la temperatura del agua que

ingresó a los sistemas y la temperatura del agua que salió de los sistemas fue en promedio 26°C.

Del mismo modo, se puede determinar que el tiempo de retención en el cual se obtuvieron temperaturas más altas fue a los 0 minutos, alcanzando la temperatura máxima entre todos los sistemas evaluados en la pila "C" a los 0 min.

Gráfico 15
Energía (Q) obtenida en cada una de las pilas de acuerdo a los tiempos de retención



Fuente: Elaboración propia basada en el Anexo 16

El Gráfico 15, muestra los datos obtenidos de la generación de energía calorífica Q(Joules), en los tres prototipos de los sistemas evaluados durante la etapa experimental, estos resultados se compararon de acuerdo al tiempo de retención en cada una de las pilas.

Se observó que consecuentemente la generación de energía más elevada fue en la pila "C" a los 0 minutos, por lo que se demuestra que es directamente proporcional a la temperatura del agua, alcanzando el valor de 40060.02 Joules.

Del mismo modo, se determinó que la energía calorífica obtenida es inversamente proporcional al tiempo de retención del agua dentro del sistema de tuberías.

Tabla 06

Determinación de la eficiencia de los sistemas evaluados en las pilas A, B y C

	Pila A			Pila B			Pila C		
	0 min	5 min	10 min	0 min	5 min	10 min	0 min	5 min	10 min
Eficiencia	62%	61%	59%	61%	61%	59%	64%	64%	62%
AT (°C)	26	25	23	25	25	23	29	28	26

Fuente: Elaboración propia, basada en las figuras 63-65 y en (Vargas & Gavira, 2018)

En la tabla 05, podemos observar la eficiencia térmica promedio de cada una de las pilas de acuerdo a los tiempos de retención evaluados, estos resultados se calcularon utilizando la fórmula 03. Se obtuvo un rango de eficiencia entre el 59% y 64%, presentándose una menor eficiencia en las pilas A y B, ambas a los 10 minutos de retención, y la mayor eficiencia en la pila "C" a los 0 minutos de retención, siendo esta la pila "C" con los porcentajes de eficiencia más altos en cada uno de los tiempos de retención evaluados. Del mismo modo, observamos las diferencias de temperatura, las cuales son directamente proporcionales a la eficiencia alcanzada en cada pila.

Gráfico 16

Determinación de la eficiencia de los sistemas evaluados en las pilas A, B y C



Fuente: Elaboración propia, basada en las figuras 63-65 y en (Vargas & Gavira, 2018)

De acuerdo a estos resultados, se puede determinar que se alcanzó una eficiencia térmica adecuada, acorde con los resultados obtenidos por Vargas & Gavira (2018), que se encontraron en un rango entre 61% y 66% como se muestra en el Gráfico 16.

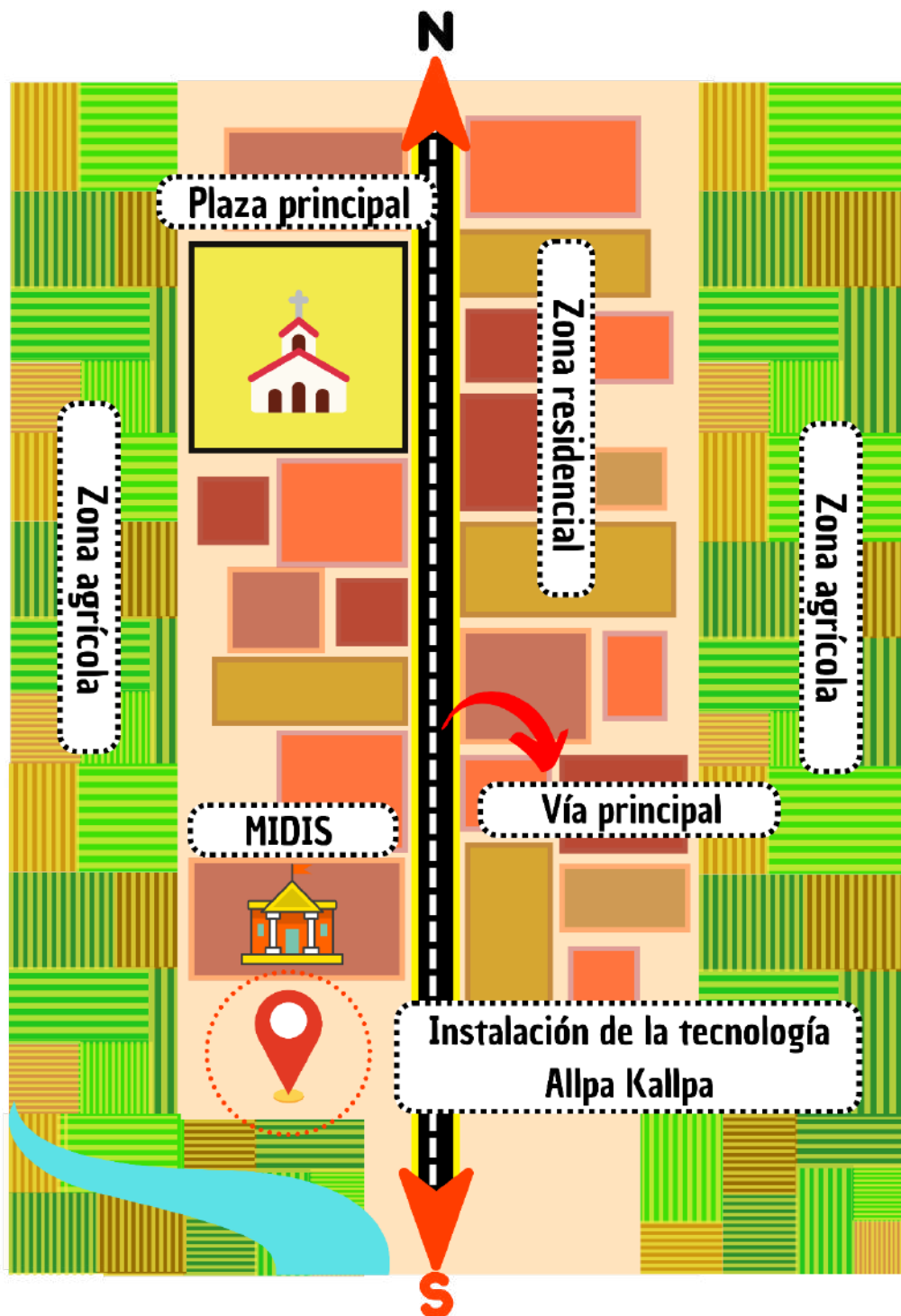
4.5 Elaboración de la propuesta de implementación de una ducha pública en Canocota-Caylloma, utilizando la tecnología para obtener agua caliente

Canocota es un pueblo ubicado en la sierra sur del Perú, en la provincia de Caylloma, región Arequipa, aquí habitan 95 personas, las cuales se beneficiarán con la implementación de duchas públicas haciendo uso de ésta tecnología para obtener acceso a agua caliente sin tener que hacer viajes a otros pueblos anexos.

La implementación de la tecnología se llevará a cabo en un trabajo conjunto de los pobladores de la zona y las autoridades competentes del lugar, teniendo una capacitación previa acerca de la segregación y recolección de los residuos, así como el manejo de la tecnología.

Esta propuesta se realizará en la entrada sur del pueblo de Canocota, en el margen izquierdo de la vía principal, como observamos en la Figura 66, ya que es una zona espaciosa y accesible para toda la población, del mismo modo, aquí se ubican las instalaciones de la oficina descentralizada del Ministerio de Desarrollo e Inclusión Social (MIDIS), por esta razón al ser un terreno del Gobierno, este se puede ceder para la instalación de las duchas al ser de interés y uso público.

Figura 66
Ubicación propuesta para la instalación de las duchas



Fuente: Elaboración propia basada en información geográfico de Google Earth, coordenadas 19 L 225112.79 m E 8277875.21 m S (UTM)

Se utilizará un total de 12 toneladas de materia orgánica, compuesta en un 60% de residuos orgánicos frescos (residuos vegetales domésticos y agrícolas), 25% de residuos orgánicos secos (hojarasca, residuos agrícolas, ceniza, aserrín) y 15% de estiércol (guano de caballo, guano de vaca, gallinaza).

De las 12 toneladas estimadas, se harán 6 pilas de compostaje, con 2 toneladas cada una que se irán conformando cada 3 semanas hasta llegar al total de pilas estimadas, teniendo en cuenta que 1 pila de compostaje de 2 toneladas puede generar agua caliente hasta por 2 meses aproximadamente según los resultados obtenidos con el prototipo a pequeña escala.

El sistema integrado de tuberías se colocará en forma de espiral cilíndrico, desplegándose desde la base hasta el tope de las pilas de compostaje, posicionada en el centro de las pilas, donde el agua alcanzará temperaturas de entre 37°C - 54°C, durante 2 meses aproximadamente. Ya que se contará con 6 pilas de compostaje, conformadas con 3 semanas de diferencia entre ellas, se tendrá acceso a agua caliente durante 12 meses aproximadamente, cuando la primera de las pilas conformadas haya culminado el proceso de compostaje y la temperatura descienda, se conformará una nueva pila en su lugar, y se repetirá el proceso con las 5 pilas restantes, permitiendo a los pobladores de Canocota contar con una fuente constante y segura de agua caliente (Brown, 2014).

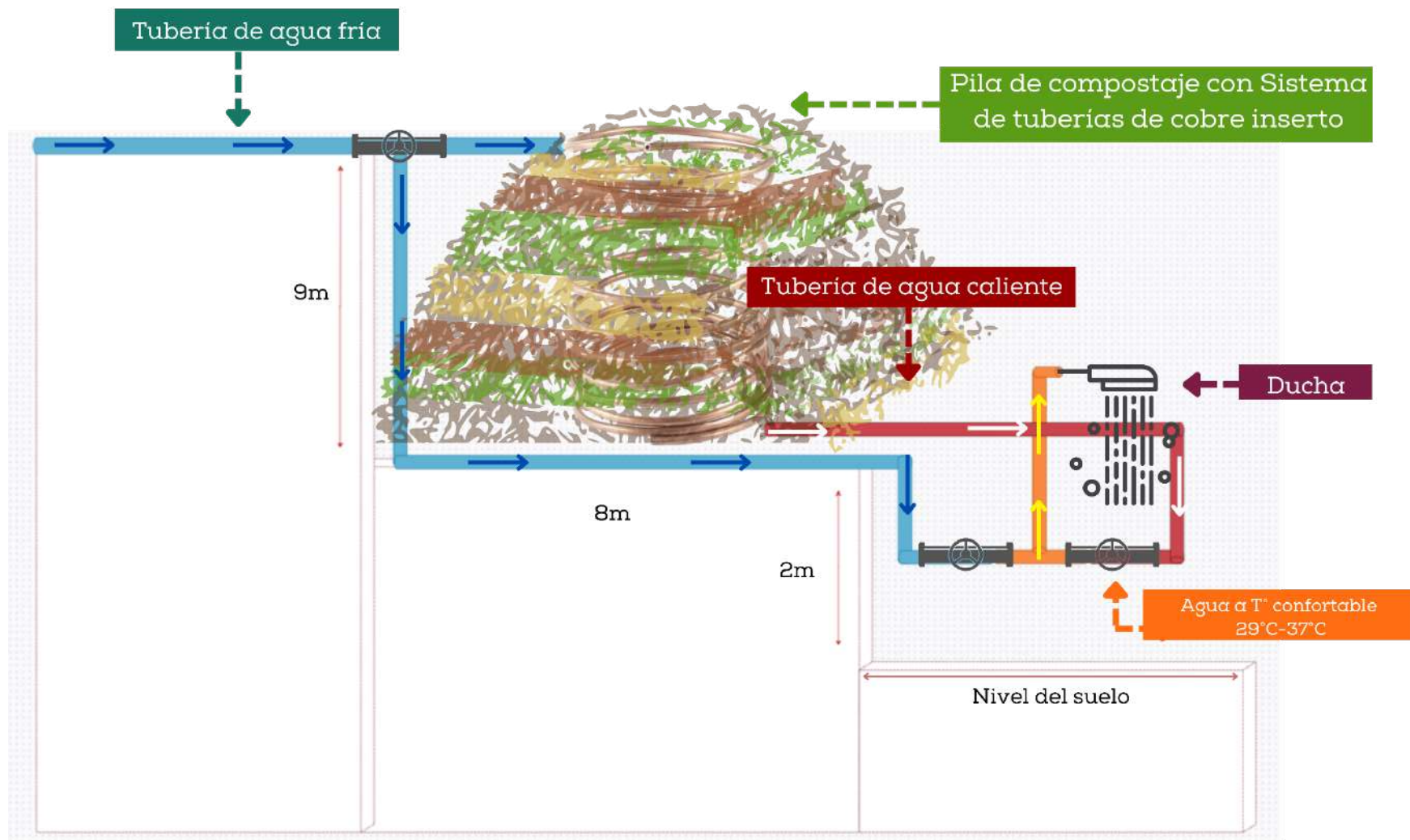
Estas temperaturas permitirán realizar el aseo personal con agua caliente de manera efectiva, considerando que la temperatura ideal para esta actividad se encuentra entre 29°C y 37°C, se instalará adicionalmente una cañería por la cual circulará agua fría, como en las duchas convencionales, que permitirá entibiar el agua para que sea adecuada para el uso deseado.

Con el fin de aprovechar la gravedad para permitir el paso del agua por las tuberías, se trabajará con un sistema de andenes, donde se utilizarán 3 niveles, teniendo como primer nivel el más alto y tercer nivel el más bajo, como se observa en la Figura 67. En el primer nivel pasará la tubería de agua fría que ingresará por el tope de la pila de compostaje, dicha tubería contará con una segunda salida que permitirá el paso del flujo de agua fría directamente hacia la ducha; en el segundo nivel se encontrará la pila de compostaje,

donde se ubicará una tercera tubería que se conectará a la base de la pila por donde saldrá el agua caliente del sistema de tuberías inserto, para dirigirse de manera directa hacia la ducha que se encontrará en el tercer nivel; de este modo tanto el agua caliente que obtuvimos con Allpa Kallpa, como el agua fría de paso directo, permitirán entibiar el agua hasta alcanzar una temperatura confortable para el aseo personal.



Figura 67
Diseño de la propuesta para la instalación duchas públicas utilizando Allpa Kallpa como Sistema de Obtención de Agua Caliente



Fuente: Elaboración propia

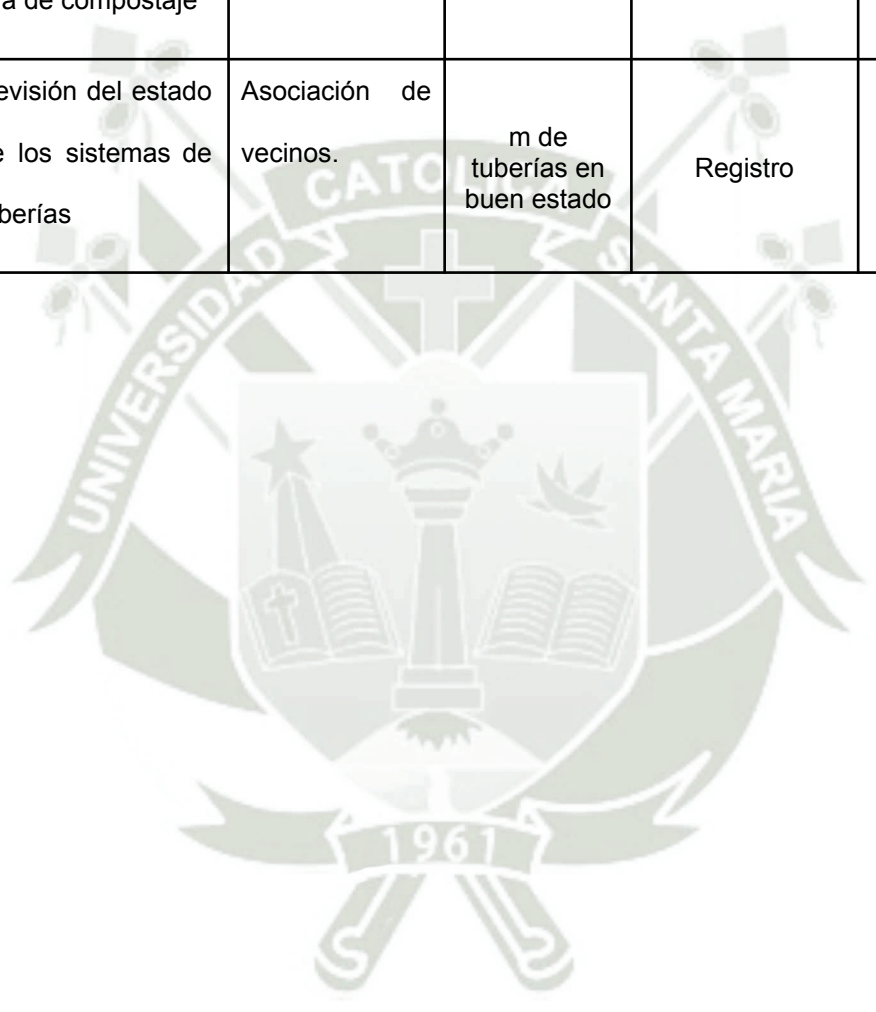
Tabla 07

Paso a paso de la propuesta del plan de implementación de una ducha pública en Canocota, Caylloma

Propuesta de plan de implementación de una ducha pública en Canocota- Caylloma, utilizando la tecnología Allpa Kallpa						
Objetivos	Actividades	Actores	Indicadores	Instrumento	Entregable	Duración (semanas)
Elaborar un estudio previo	Determinación del acceso a agua caliente por parte de la población	Gobierno local, asociación de vecinos.	N° de personas con acceso a agua caliente	Encuesta	01 Informe	1
	Determinación de la cantidad de residuos orgánicos que se generan en la zona de estudio	Especialistas, gobierno local, asociación de vecinos.	kg de residuos orgánicos generados	Ficha técnica	01 Informe	1
	Determinación de los parámetros meteorológicos de la zona de estudios	Especialistas.	-T° -Precipitación	Ficha de datos meteorológicos del Senhami	01 Informe	1
	Análisis de la aceptación de la tecnología Allpa Kallpa, para su implementación	Especialistas.	N° de personas que acepten la tecnología Allpa Kallpa	Encuesta	01 Informe	1
Diseñar el sistema de agua caliente	Diseño de las duchas públicas	Especialistas.	N° de duchas disponibles	AutoCAD	01 Plano del diseño	2
	Determinación el área donde se	Gobierno local, especialistas.	m ²	AutoCAD	01 Plano del área	2

	implementarán las duchas públicas					
Implementar el sistema de agua caliente	Obtención de los permisos	Gobierno local.	N° de Permisos aprobados	Solicitud de autorización	01 Informe	4
	Capacitación a los diferentes actores involucrados	Gobierno local, especialistas y asociación de vecinos	N° de personas capacitadas	Talleres de capacitación	01 Informe	3
	Preparación del sitio donde se instalarán las duchas públicas	Especialistas y asociación de vecinos.	m ² preparados	Maquinaria y equipo humano	01 Ficha Técnica	2
	Acopio de los materiales y herramientas	Gobierno local, especialistas.	-kg de materiales -N° de herramientas	Inventario	01 Inventario	4
	Instalación de duchas públicas	Especialistas, asociación de vecinos.	N° de duchas instaladas	Maquinaria y equipo humano	01 Ficha técnica	3
	Montaje del sistema de tuberías tecnología Allpa Kallpa	Especialistas, asociación de vecinos.	m de tubería montados	Equipo humano	01 Ficha técnica	1
	Conformación la pila de compostaje	Especialistas, asociación de vecinos.	Toneladas de material	Maquinaria y equipo humano	01 Ficha técnica	1

Monitorear el funcionamiento del sistema	Control de temperaturas de agua	Asociación de vecinos.	T°	Termómetro	01 Informe	Permanente
	Control de temperaturas de la pila de compostaje	Asociación de vecinos.	T°	Termómetro de compost	01 Informe	Permanente
	Revisión del estado de los sistemas de tuberías	Asociación de vecinos.	m de tuberías en buen estado	Registro	01 Informe	2



4.5.1 Análisis Costo - Beneficio Ambiental de la tecnología Allpa Kallpa

Tabla 08

Análisis Costo-Beneficio Ambiental de la tecnología Allpa Kallpa vs tecnología de terma con paneles solares

Análisis Costo - Beneficio Ambiental				
	Costo (sol peruano)		Beneficio Ambiental (sol peruano)	
Tecnología Allpa Kallpa	Costo de materiales	S/ 12 000	Tn de Co2 evitadas, provenientes de la descomposición de materiales en un botadero	S/3 010 (110.4 Tn CO2)
	Costo de transporte	S/ 380	Venta del compostaje por kg	S/ 18 000 (12 000 kg de compost)
			Sumidero de CO2 (Tn de CO2 secuestradas)	S/ 34 (1.3 Tn CO2)
Total	S/ 12 380		S/ 21 044	
Beneficio obtenido	S/ 1.69			
Terma con Paneles solares	Costo de Mercado	S/ 169 000	Tn de CO2 emitidas por terma a gas	S/ 787 (28.9 Tn de CO2)
	Costo de Transporte	S/ 11 020	Gastos evitados del uso de la terma a gas	S/ 46 800
Total	S/ 180 020		S/ 47 587	
Beneficio obtenido	S/ 0.26			

Fuente: Elaboración propia, basada en (Termasol S.A.C., 2022), (FUSO, 2021), (REPSOL, 2022), (SOLGAS, 2022), (Guies per al càlcul d'emissions de GEH, 2022), (Amigos, 2013), (Broncería Rossy E.I.R.L., 2022)

En la tabla 08, se detalla el Análisis Costo-Beneficio Ambiental de la Tecnología Allpa Kallpa comparada con la tecnología limpia de Termas con Paneles Solares, ambas utilizadas con el fin de obtener agua caliente.

Todos los valores obtenidos, se hallaron considerando un periodo de uso de 1 año.

En este análisis, se evalúan dos variables:

- Variable “costo”: representada por la inversión monetaria para la implementación de cada una de las tecnologías, utilizando como unidad el Sol (moneda peruana). En esta variable se consideraron el costo de mercado de los materiales/tecnología y el

costo de transporte hasta el pueblo de Canocota. Como se puede observar en la tabla 08, el costo de la tecnología Allpa Kallpa es significativamente menor que el costo de las termas con paneles solares, teniendo en cuenta que Allpa Kallpa plantea la implementación de duchas públicas, considerando el total de la población, mientras que la tecnología de termas con paneles solares tendría que colocarse en cada vivienda para cubrir la demanda de agua caliente.

- Variable “beneficio”: representada por las emisiones de CO₂ evitadas durante el uso de las tecnologías evaluadas, transformando las toneladas de CO₂ en valores monetarios haciendo uso de los Bonos de Carbono (1 ton CO₂ = \$7.17) (MINAM, 2020), utilizando como unidad el Sol (moneda peruana). En el caso de la tecnología Allpa Kallpa se consideraron las toneladas de CO₂ evitadas gracias al uso de residuos orgánicos, que de no ser reaprovechados terminarían en un botadero generando grandes toneladas de CO₂, además, se consideraron las toneladas de CO₂ secuestradas gracias a la capacidad del compost al actuar como sumidero (Guies per al càlcul d'emissions de GEH, 2022). Adicionalmente, dentro de los beneficios de Allpa Kallpa, se consideró el ingreso económico que generaría la venta del producto final, el compost, valorizada en unidades de Sol (moneda peruana).

Por otro lado, para la determinación de los beneficios de la Terma con Paneles Solares, se planteó el caso hipotético donde, de no implementarse esta tecnología, se implementaría la tecnología tradicional de mayor uso para la obtención de agua caliente, la terma a gas; de este modo, si se reemplaza la terma a gas por una terma con paneles solares, se evitaría la emisión de toneladas de CO₂, considerando esto como un beneficio ambiental; así como, el gasto evitado que supondría la compra de balones de gas, en unidades de Sol (moneda peruana).

Para determinar el Beneficio Obtenido en cada una de las tecnologías, se dividió el Beneficio Ambiental (S/) entre el Costo (S/), determinando así, que la tecnología Allpa Kallpa representa la mejor opción entre las tecnologías evaluadas.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- a. El 97% de la población de Canocota, se encuentra desabastecida del recurso agua caliente para el aseo personal y doméstico, situación que reduce la calidad de vida de los pobladores. Asimismo, se encontró con una disposición del 100% de los pobladores para la implementación de la tecnología para obtener agua caliente.
- b. Se diseñaron tres prototipos del sistema para obtener agua caliente, incorporando al proceso de compostaje un sistema de tuberías de cobre, estos prototipos fueron evaluados bajo las mismas condiciones para determinar su eficiencia.
- c. Se logró generar agua caliente en los tres prototipos del sistema evaluados, alcanzando las mayores temperaturas en el prototipo de la pila "C", que contaba con un sistema de tuberías integrado en forma de espiral cilíndrico, el tiempo de retención ideal fue de 0 minutos, obteniendo una temperatura mínima de 37°C y una máxima de 56°C. Estas temperaturas son adecuadas ya que pueden ser reguladas con un paso de agua fría para llevarlas al rango de 29°C - 37°C, temperaturas ideales para el aseo personal.
- d. La eficiencia de los sistemas evaluados en las pilas de compostaje "A", "B" y "C", alcanzaron valores en un rango de 59% - 64% de eficiencia, donde la pila "C" a los 0 minutos de retención la que obtuvo la mayor eficiencia con 64%, siendo este resultado proporcional a la variación de temperatura registrada; además, se determinó una variación de temperatura promedio de 26°C, a través de un balance energético aplicado a cada uno de los sistemas en las pilas de compostaje.
- e. Finalmente, en la Propuesta de Implementación de una ducha pública en Canocota-Caylloma, se planteó el dimensionamiento del sistema con la conformación de pilas de 12 toneladas de material con la tecnología para obtener agua caliente, integrada, asegurando el acceso a agua caliente para los pobladores

de Canocota durante 12 meses, con temperaturas variables entre 43°C - 54°C. Además, se estableció que, para el correcto funcionamiento de las duchas públicas, es necesario el trabajo conjunto de la población y autoridades. Por otro lado, se observó que de acuerdo al Análisis Costo-Beneficio Ambiental realizado, la tecnología para obtener agua caliente muestra un beneficio ambiental mucho mayor al costo que representaría su implementación. Además, se concluye que el aprovechamiento de las propiedades térmicas del compostaje permitió de manera eficiente la generación de agua caliente a través de la aplicación de Allpa Kallpa, una tecnología limpia aplicable en zonas rurales.



5.2 Recomendaciones

- a. Realizar el proceso experimental en diferentes estaciones del año, para evaluar el comportamiento de la tecnología para obtener agua caliente bajo diversas condiciones ambientales (estaciones secas y estaciones húmedas).
- b. Muestrear la temperatura final del agua con tiempos de retención más prolongados.
- c. Realizar repeticiones para cada uno de los prototipos diseñados para la obtención de resultados estadísticos más precisos y confiables, con un mínimo de 4 repeticiones por cada uno. (Dicovski, 2016)
- d. Considerar las condiciones climáticas, demográficas, geográficas, ecosistémicas, disponibilidad de materia prima, así como el aspecto sociocultural y económico de la comunidad donde se desee implementar la tecnología para obtener agua caliente para asegurar que esta sea específica y adecuada para el lugar.
- e. Hacer un control constante a los sistemas de tuberías para poder asegurar que el material se encuentre en óptimas condiciones y evitar fugas de agua o de calor que puedan generar algún tipo de alteración en el proceso.
- f. Hacer futuras investigaciones implementando procesos o variando materiales y porcentajes, con el fin de optimizar el diseño propuesto.
- g. Plantear propuestas de aprovechamiento de la energía calorífica generada en el proceso de compostaje, orientadas a diversos usos.
- h. Realizar un análisis específico y detallado sobre la aceptación de la población y autoridades locales para la implementación de la tecnología, ya que ellos, en un trabajo conjunto, serían los encargados de su mantenimiento y monitoreo.

CAPÍTULO VI: REFERENCIAS

- Agrilab Technologie. (2016). *Feasibility Report and Design Recommendation for a CompostPowered Water Heating System for Gibb's Farm at Western Michigan University*. 57.
- Aguilar Gavira, S., & Barroso Osuna, J. M. (2015). *La triangulación de datos como estrategia en investigación educativa*.
<https://doi.org/10.12795/pixelbit.2015.i47.05>
- Agüero, D. R., & Alfonso, E. T. (2014). Generalidades De Los Abonos Orgánicos: Importancia Del Bocashi Como Alternativa Nutricional Para Suelos Y Plantas. *Cultivos Tropicales*, 35(4), 52-59.
- Aliaga Girón, R. C., Balvin Vargas, M. E., Cosme Obregón, J., Mallqui Fernandez, K. R., Tucto Janampa, J., & Zevallos Romero, A. (2019). Los efectos del frio en estudiantes universitarios en la ciudad de Huancayo. *Universidad Continental*.
<https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/6072>
- Alvarado-Raya, H. E., Escamilla-García, P. E., Estrada-Chavira, M. E., Pérez-Soto, F., & Moreno-López, K. E. (2022). La composta como reductor de gases de efecto invernadero en el sector agrícola: una revisión integral. *Información Técnica Económica Agraria*.
<https://doi.org/10.12706/itea.2022.012>
- Amigos. (2013, diciembre 12). El compostaje receta para reducir la huella de carbono en España. *Amigos de la Tierra*.
<https://www.tierra.org/el-compostaje-receta-para-reducir-la-huella-de-carbono-en-espana/>
- Arce, T. S. (2014). Actividad microbiana en el proceso de compostaje aerobio de residuos sólidos orgánicos. *Revista de Investigación Universitaria*, 3(2), Article 2.
<https://doi.org/10.17162/riu.v3i2.524>
- Associació Catalana d'Enginyeria Sense Fronteres (Ed.). (2018). *Manual de*

producción de compost.

<https://esf-cat.org/wp-content/uploads/2018/12/Manual-produccion-de-compost-ESF.pdf>

- Bajko, J., Fišer, J., & Jícha, M. (2018). Temperature measurement and performance assessment of the experimental composting bioreactor. *EPJ Web of Conferences*, 180, 02003. <https://doi.org/10.1051/epjconf/201818002003>
- Baque Quimis, S. C. (2015). *Plan piloto para el manejo de desechos de tipos orgánicos para la elaboración de compost, en el barrio Simón Bolívar del cantón Echeandía.* <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/11521>
- Black box. (2016, mayo 1). *Fundación Dr. Antoni Esteve.* <https://212.92.58.87/otras-sugerencias/diccionario-black-box/>
- Britanix, T. (2008). *Libro metodologia investigacion.* https://www.academia.edu/28294782/Libro_metodologia_investigacion_Behar_1_
- Brown, G. (2014). *The Compost-Powered Water Heater: How to heat your greenhouse, pool, or buildings with only compost!*
- Buenaño Fiallos, E. M. (2022). *Reducción de impactos ambientales, aumento de la eficiencia productiva en la empresa fomm cía. Ltda., y propuesta de gestión de los residuos orgánicos mediante compostaje aerobio: Propuesta de alternativa de compostaje aerobio para el aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos generados en el proceso de cultivo, producción de aceite y hojas secas de moringa de la empresa fomm cía.ltda.* [BachelorThesis, Quito : EPN, 2022.]. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/23007>
- Cabrera Rodríguez, E., León Fernández, V., Montano Pérez, A. de la C., & Dopico Ramírez, D. (2016). Caracterización de residuos agroindustriales con vistas a su aprovechamiento. *Centro Azúcar*, 43(4), 27-35.
- Caiza, G. A., & Córdor, M. G. (2016). *Diseño y desarrollo de un calentador de agua mediante el uso de energía calorífica generado por una compostera para áreas*

rurales. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/6898>

Camacho, A. D., Martínez, L., Ramírez Saad, H., Valenzuela, R., & Valdés, M. (2014).

Potencial de algunos microorganismos en el compostaje de residuos sólidos. *Terra Latinoamericana: órgano científico de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C.*, 32(4), 291-300.

https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792014000400291

Chávez Cadena, J. M., & Tréboles Guanoluisa, K. J. (2023). Evaluación de la eficiencia del proceso de compostaje a partir de diferentes tamaños de residuos orgánicos, como alternativa de manejo de desechos de la actividad florícola, Cayambe, 2022.

Chen R, Wang Y, Wei S, Wang W, Lin X (2014). Windrow composting mitigated CH₄ emissions: characterization of methanogenic and methanotrophic communities in manure management. *FEMS Microbiology Ecology* 90: 575-586.

<https://doi.org/10.1111/1574-6941.12417>.

Chero Soplapuco, J. K., & Salcedo de la Cruz, C. H. (2020). CARACTERIZACIÓN DE RESÍDUOS SÓLIDOS DE ECOALDEA EUTOPIA, PARA GENERAR UNA PROPUESTA DE MODELO DE GESTIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA PARA SU APROVECHAMIENTO EN LA PRODUCCIÓN DE COMPOST. *Universidad de Lambayeque*. <https://repositorio.udl.edu.pe/jspui/handle/UDL/361>

Condori Cutipa, J. R., & Asqui Castellanos, C. H. (2018). Evaluación de la dotación de agua para el proyecto: “Mejoramiento de servicios de agua y saneamiento en la comunidad de Kunurana del distrito de Santa Rosa – Melgar – Puno”. *Universidad Nacional del Altiplano*. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/8391>

Corredor, Y. A. V., & Pérez, L. I. P. (2018). Aprovechamiento de residuos agroindustriales en el mejoramiento de la calidad del ambiente. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 59-72. <https://doi.org/10.18359/rfcb.3108>

Creative Commons. (2008).

<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>

- Cueto Codorniú, A. N. (2017). *Evaluación de tecnologías para la reutilización, valorización y disposición de residuos orgánicos*. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/145901>
- Dicovski, L. M. (2016). *Estadística Básica para Ingenieros*.
https://www.academia.edu/30795212/Estad%C3%ADstica_B%C3%A1sica_para_Ingenieros
- El Heraldo. (2019). *Energía a base de residuos*. EL HERALDO.
<https://www.elheraldo.co/barranquilla/energia-base-de-residuos-630254>
- Espinoza Cadenillas, E. M. E. (2022). *Propuesta de diseño de un sistema termosolar para obtención de agua caliente en zona rural de Cajamarca*. *Universidad de Piura*.
<https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/5543>
- Falconi, E. J., Yaya, D. S., Velásquez, M., Moscol, A. A., & Cavero, O. B. (2020). *Riesgos del uso de detergentes domésticos en la calidad del agua en poblaciones en transición de lo rural a lo urbano: Churín 2017*. *Alternativa Financiera*, 9(1), Article 1.
<https://www.aulavirtualusmp.pe/ojs/index.php/AF/article/view/1763>
- Fan, S., Li, A., ter Heijne, A., Buisman, C. J. N., & Chen, W.-S. (2021). *Heat potential, generation, recovery and utilization from composting: A review*. *Resources, Conservation and Recycling*, 175, 105850.
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105850>
- FAO. (2013). *Manual de compostaje del agricultor: Experiencias en América Latina*. En *F218m 5049*. <https://bibliotecadigital.ciren.cl/handle/20.500.13082/25737>
- Feedback Networks Technologies (2013). *Calcular la muestra correcta*.
<https://www.feedbacknetworks.com/cas/experiencia/sol-preguntar-calcular.html>
- FUSO. (2021, diciembre 21). *¿Cuánto combustible consume un camión?* *FUSO Blog | Venta de camiones de carga y buses*.
<https://www.fuso.com.pe/blog/cuanto-combustible-consume-camion/>
- Gamio, P., & Eisman, J. (2016). *Acceso universal a la energía y tecnologías renovables*.
<https://cies.org.pe/es/investigaciones/elecciones-generales-2016-medio-ambiente-recursos-naturales-y-energia/acceso>

Guies per al càlcul d'emissions de GEH. (2022). Canvi climàtic.

http://canviclimatic.gencat.cat/ca/actua/guia_de_calcul_demissions_de_co2/

Guiza Florez, A. (2018). *SPIRAL TUBE HEAT EXCHANGERS, VARIABLES THAT AFFECT ITS NORMAL BEHAVIOR. 1.*

Hassen, A., Belguith, K., Jedidi, N., Cherif, A., Cherif, M., and Boudabus, A. (2001).

Microbial characterization during composting of municipal solid waste.

Bioresour. Technol. 80,2017-225

Herrera, J. O., Prado, O. R., la Innovación Agraria (FIA), F. P., & Universidad de las Américas. (2007). El compostaje y su utilización en agricultura : para pequeños(as) productores(as) de la agricultura familiar campesina.

<https://bibliotecadigital.fia.cl/handle/20.500.11944/1907>

Herrera, S. J. C. (2015). *IDENTIFICACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS PARA LA PARTICIPACIÓN EMPRESARIAL EN EL NEGOCIO DEL RECICLAJE DE COBRE EN LA REGIÓN METROPOLITANA.* 84.

How to Make Compost in 18 Days Using the Berkeley Hot Composting Method – Deep Green Permaculture. (s. f.). Recuperado 8 de agosto de 2022, de

<https://deepgreenpermaculture.com/2010/05/08/hot-compost-composting-in-18-days/>

INEI. (2017). *Censo 2017.*

https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1541/cuadros/dpto04.xlsx

INEI. (2019). *Indicadores de Resultados de los Programas Presupuestales ENDES Primer Semestre 2019.*

https://proyectos.inei.gob.pe/endes/2019/ppr/Indicadores_de_Resultados_de_los_Programas_Presupuestales_ENDES_Primer_Semestre_2019.pdf

Informe sobre las Migraciones en el Mundo 2020. (2019).

<https://publications.iom.int/es/books/informe-sobre-las-migraciones-en-el-mundo-2020>

0

Irvine, G., Lamont, E. R., & Antizar-Ladislao, B. (2010). *Energy from Waste: Reuse of*

- Compost Heat as a Source of Renewable Energy. *International Journal of Chemical Engineering*, 2010, e627930. <https://doi.org/10.1155/2010/627930>
- Laich, F. (2011). El papel de los microorganismos en el proceso de compostaje. Instituto Canario de Investigaciones Agrarias. CIA, 1-7.
- López-Gómez, E., (2018). *EL MÉTODO DELPHI EN LA INVESTIGACIÓN ACTUAL EN EDUCACIÓN: UNA REVISIÓN TEÓRICA Y METODOLÓGICA*. *Educación XX1*, 21(1), 17-40.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=70653466002>
- MacCready, J.S., Elbert, N.J., Quinn, A.B., and Potter, B.A. (2013).
An assessment of bacterial populations in a static windrow compost pile.
Compost Sci. 21, 110-120.
- Malesani, R., Pivato, A., Bocchi, S., Lavagnolo, M. (2021). Compost Heat Recovery System: An alternative to produce renewable heat and promoting ecosystem services. *Environmental Challenge Journal*, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100131>
- MINAGRI, DECRETO SUPREMO N° 016-2012-AG (2012).
<https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/aprueban-reglamento-de-manejo-de-los-residuos-solidos-del-se-decreto-supremo-n-016-2012-ag-866098-1/>
- MINAM. (2016). *Reciclaje y disposición final segura de residuos sólidos*.
<https://sinia.minam.gob.pe/download/file/fid/39052>
- MINAM. (2020). *El precio al carbono como instrumento de descarbonización en el contexto nacional*.
https://www.congreso.gob.pe/Docs/comisiones2020/CE_Cambio_Climatico_-2020-2021/files/foros_documentos/20_10_06_precio_al_carbono_minam.pdf
- Montesinos, E. A. E. (2016). Adaptación del cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa willd*) al cambio climático en los Andes del Perú. *Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas*, 19(37).
<https://doi.org/10.15381/iigeo.v19i37.12950>
- Mori Acuña, D. E. (2018). *Proyecto de viabilidad de climatización y electrificación en*

viviendas de comunidades rurales en Zonas Alto Andinas (Puno-Perú).

<http://diposit.ub.edu/dspace/handle/2445/125005>

Nwanze, K., & Clark, O. G. (2019). Optimizing Heat Extraction from Compost. *Compost Science & Utilization*, 27(4), 217-226.

<https://doi.org/10.1080/1065657X.2019.1686443>

Pain, J., & Pain, I. (1980). *Another kind of Garden- The Methods of Jean Pain* (1st ed.).

¿QUÉ SON RESIDUOS ORGÁNICOS? | 5 Cubitos. (2019).

<http://www.cslapalma.org/5cubitos/que-son-los-residuos-organicos>

Quiroz Bartra, E. R. (2018). Evaluación del compostaje domiciliario como modelo de gestión de los residuos orgánicos en la ciudad de Moyobamba, 2015. *Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto*. <http://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/2968>

Ram, P. (2013). *The Rapid Composting Method*.

https://www.academia.edu/4777464/The_Rapid_Composting_Method

Ramírez N., V. M., Peñuela S., L. M., & Pérez R., M. D. R. (2017). Los residuos orgánicos como alternativa para la alimentación en porcinos. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 34(2), 107-124. <https://doi.org/10.22267/rcia.173402.76>

Ramírez Torres, M. J. (2013). *Evaluación del efecto diferencial del mezclado mecánico en biodegradación de materia orgánica en compostaje aeróbico en pilas de aireación por difusores*. <http://repopib.ubiobio.cl/jspui/handle/123456789/2333>

Ramírez Vinasco, D. (2020). *Síntesis, estabilidad térmica y caracterización termofísica de compósitos base cobre con relleno de nitruro de aluminio*.

http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB_UMICH/2651

Reguant-Álvarez, M. & Torrado-Fonseca, M. (2016). *El método Delphi*. *REIRE, Revista d'Innovació i Recerca en Educació*

<https://revistes.ub.edu/index.php/REIRE/article/download/14631/18093#:~:text=En%20cuanto%20a%20la%20cantidad,y%20un%20m%C3%A1ximo%20de%2030>.

Reyes, C. E. G., & Liñán, L. T. (2018). *Aplicación del Método Delphi Modificado para la Validación de un Cuestionario de Incorporación de las TIC en la Práctica Docente*.

Revista Iberoamericana de Evaluación Educativa, 11(1), Art. 1.

<https://doi.org/10.15366/riee2018.11.1.007>

Robledo Mahón, T. (2018). *Estudio de los procesos biológicos y de la estructura de las comunidades microbianas en el proceso de compostaje de lodos de depuradora de aguas residuales urbanas, en sistemas de membranas semipermea*. Universidad de Granada.

Robles Mitma, M. B. (2015). *EVALUACIÓN DE PARÁMETROS DE TEMPERATURA, PH Y HUMEDAD PARA EL PROCESO DE COMPOSTAJE EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS SOLIDOS ORGANICOS DE LA MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE LEONCIO PRADO EJECUTOR* : 59.

Rojas Pérez, F. N., & Zeledón Vílchez, E. A. (2007). *Efecto de diferentes residuos de origen vegetal y animal en algunas características física, química y biológica del compost. Hacienda Las Mercedes, Managua, 2005* [Engineer, Universidad Nacional Agraria, UNA]. <https://repositorio.una.edu.ni/2036/>

Rossi, M. G., & Cabrera, V. (2016). «*Propuesta para la elaboración de compost a partir de los residuos vegetales provenientes del mantenimiento de las áreas verdes públicas del distrito de Miraflores*» (*Garden organics composting proposal for Miraflores Council*). <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.35231.10407>

Salinas, C., León, M. de los A., & Yagello, J. (2018). *Manual de compostaje para zonas frías*. <https://docplayer.es/85489370-Manual-de-compostaje-para-zonas-frias.html>

Santos, S. de. (2013). *Compostaje y vermicompostaje domésticos*. CENEAM.

Say Chamán, A. B. (2019). *Manejo de la basura y su clasificación*. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Humanidades.

<https://infolibros.org/pdfview/15284-manejo-de-la-basura-y-su-clasificacion-antonio-b-enjamin-say-chaman/>

Seki, H., Kiyose, S., & Sakida, S. (2014). An experimental system for the recovery, accumulation, and utilization of heat generated by bamboo chip biodegradation using a small-scale apparatus. *Journal of Agricultural Meteorology*, 70(1), 1-11.

<https://doi.org/10.2480/agrmet.D-13-00011>

SENAMHI. (2018),

<https://www.senamhi.gob.pe/tendenciashistoricas/>

SENAMHI. (2021).

<https://www.senamhi.gob.pe/?p=pronostico-detalle&dp=04&localidad=0180>

Smith, M. (2016). *Creating an economically viable, closed-system, energy-independent dairy farm through the on-farm production of animal bedding and heat capture from an aerated static pile heat recovery composting operation.*

Steinvorth Álvarez, A. (2014). *Residuos de alimentos: ¿problema u oportunidad?*

Cegesti.org. http://municipal.cegesti.org/articulos/articulo_02_191114.pdf

Suasaca, L., Apaza, A., Flores, J., Perca, O., & Quinto, W. (2020). Influencia de las pacas de avena en la temperatura y humedad en las viviendas en zonas Altoandinas.

Scielo.

http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2518-44312020000100015&script=sci_abstract

Sugiura, K., Yamatani, S., Watahara, M., & Onodera, T. (2009). Ecofeed, animal feed produced from recycled food waste. *Veterinaria Italiana*, 45(3), 397-404.

Santana, B., & Wilson. (2019). El proceso de compostaje. Universidad de la Salle.

Torres, S., & Justina, L. L. (2018). Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en compostaje del mercado mayorista metropolitano Río Seco – La Parada. Cerro Colorado. *Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.*

<http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/6546>

Vargas, E. E. A., & Gavira, A. E. V. (2018). PROTOTIPO DE CALENTADOR SOLAR PLANO DE USO DOMÉSTICO. *JÓVENES EN LA CIENCIA*, 4(1), 2698-2702.

Velasco-Velasco, J. (2016). RESIDUOS AGROINDUSTRIALES CON POTENCIAL DE COMPOSTAJE. *Agro Productividad*, 9(8), Article 8.

<https://www.revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/7>

Villar, I., Alves, D., Garrido, J., and Mato, S. (2016)

Evolution of microbial dynamics during the maturation phase of the composting of different types of waste.

Waste Manag. 54, 83-92.



Anexos:

Anexo 01


Tabla 09

Candidatos para la validación de la encuesta

Candidatos para la validación de la encuesta			
	Nombre	Campo de conocimientos	Contacto
1	Alexis André Laguna de la Gala	Experto en comunidades rurales y vulnerables y Magíster en Desarrollo Sostenible	a.laguna@pucp.pe
2	Clinton James Fandrich	Experto en energías renovables y gerente de Mundo Sostenible Consultores	clinton.fandrich@gmail.com
3	Renato Gonzalo Fernandez Peixoto	Experto en compostaje y gerente de Plantum	rg_peixoto@hotmail.com
4	Froy Coloma Dongo	Experto en compostaje y gestión de residuos orgánicos	fcoloma@ucsm.edu.pe
5	Jorge Valdivia Paredes	Experto en valorización de residuos orgánicos	j.valdiviap@gmail.com
6	Jhonny Augusto Chomba Paredes	Experto en trabajo con comunidades rurales	jhonny.chomba@gmail.com
7	Mary Andrea Herrera Pinto	Experta en Gestión de Residuos Sólidos y Magíster en Gestión Pública	ing.amb.maryandrea@gmail.com
8	Jorge Armando Iriondo Valdez	Experto en trabajo con comunidades rurales	ironjor.val@gmail.com
9	José Adolfo Quisocola Condori	Fundador del Primer Eco Banco del Estudiante Bartselana, experto en gestión y valorización de residuos sólidos	jhoseadolfo@gmail.com
10	Belen Stefanny Tejada Tumba	Experta en energías renovables	belen.tejadat@gmail.com

Anexo 02

Formato de Autoevaluación de expertos



Autoevaluación de conocimientos

Agradecemos su tiempo y predisposición para formar parte del grupo de expertos para la validación del instrumento de investigación para la tesis "DISEÑO DE UNA TECNOLOGÍA LIMPIA PARA EL APROVECHAMIENTO DE LAS PROPIEDADES TÉRMICAS DEL COMPOSTAJE PARA LA OBTENCIÓN DE AGUA CALIENTE EN ZONAS RURALES, EN CANOCOTA-CAYLLOMA, AREQUIPA, 2022"

Nombre completo *


Texto de respuesta breve

Correo electrónico *

Texto de respuesta largo

Número de teléfono

Texto de respuesta breve



Marque un Número del 1 al 10, considerando al 1 como el menor valor y el 10 como el valor máximo, autovalorándose con respecto a su nivel de experiencia y conocimiento en alguno de los siguientes temas, compostaje, gestión de residuos sólidos, energías renovables, condiciones de vida en comunidades rurales. Basta tener conocimiento y experticia en 1 de los temas antes mencionados para responder a la pregunta. En caso tenga experticia en más de uno de los temas marcar en función al que usted considere como experticia mayor *

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

¿Cuántos Años de Experiencia tiene en el campo del compostaje y/o gestión de residuos y/o energías renovables y/o condiciones de vida en zonas rurales? *

- De 5 a más años.
- Entre 2 a 4 años.
- Menos de 2 años

¿Cuál es el su máximo grado académico obtenido? *

- Doctorado y más estudios
- Magister
- Título Profesional o Bachiller
- No contar con estudios superiores

Enviar

Borrar formulario

Nunca envíe contraseñas a través de Formularios de Google.

Google no creó ni aprobó este contenido. [Denunciar abuso](#) - [Condiciones del Servicio](#) - [Política de Privacidad](#)


Google Formularios



Evaluación para la validación de preguntas para el trabajo de investigación, "DISEÑO DE UNA TECNOLOGÍA LIMPIA PARA EL APROVECHAMIENTO DE LAS PROPIEDADES TÉRMICAS DEL COMPOSTAJE PARA LA OBTENCIÓN DE AGUA CALIENTE EN ZONAS RURALES, EN CANOCOTA-CAYLLOMA, AREQUIPA, 2022"

La finalidad de la encuesta a aplicar es conocer la realidad actual de la población de Canocota-Caylloma, considerando tanto del acceso que tienen actualmente a agua caliente, como el conocimiento con el que cuentan para la efectiva implementación de la tecnología propuesta y como esta se acoplaría mejor a sus necesidades, para así poder desarrollar una tecnología de fácil manejo y replicabilidad de acuerdo a las condiciones sociales, ambientales y económicas del lugar de estudio.

La evaluación consiste en calificar cada una de las preguntas presentadas que forma parte de la encuesta a aplicarse, se evalúa la relevancia de acuerdo a la escala de Likert calificando del 0 al 5, siendo cero (0) una pregunta de irrelevante y cinco (5) una pregunta totalmente relevante.

 krisevk11@gmail.com (no se comparten) [Cambiar cuenta](#)



*Obligatorio

Nombre *

Tu respuesta

Correo electrónico *

Tu respuesta

Número de teléfono

Tu respuesta

Pregunta N°1 *

1. ¿Cuántas personas viven en su hogar?

a) 1 a 2 ()

b) 3 a 4 ()

c) 5 a más ()

0

1

2

3

4

5

Pregunta N°2 *

2. ¿Cuenta con suministro de agua potable?

a) Si

b) No

0

1

2

3

4

5

Pregunta N°3 *

3. ¿Cuenta con baño propio?

a) Si

b) No

0

1

2

3

4

5

Pregunta N°4 *

4. ¿Cuenta con ducha?

c) Si

d) No

0

1

2

3

4

5

Pregunta N°5 *

5. En caso de que la respuesta anterior sea "sí" ¿Esta cuenta con suministro de agua caliente?

- a) Sí
- b) No

0	1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Pregunta N°6 *

6. En caso de que la respuesta sea "no", ¿Cómo realiza su aseo personal?

- a) Calentar agua en baldes
- b) Duchas públicas "La calera"
- c) No se ducha
- d) Otros: _____

0	1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Pregunta N°7 *

7. ¿Cuáles son los principales residuos generados en su hogar?

- a) Vegetales
- b) Restos animales
- c) Papel y cartón
- d) Plásticos
- e) Otros: _____

0	1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Pregunta N°8 *

8. ¿Conoce usted que son los residuos sólidos orgánicos?

a) Sí

b) No

0

1

2

3

4

5

Pregunta N°9 *

9. ¿Conoce usted lo que es el compostaje?

a) Sí

b) No

0

1

2

3

4

5

Pregunta N°10 *

10. Luego de escuchar la explicación, ¿Estaría dispuesto a implementar un sistema que le brinde agua caliente a base de compost?

a) Sí

b) No

0

1

2

3

4

5

Pregunta N°11 *

11. En caso de que la respuesta sea "no", indique sus motivos:

- a) Costo
- b) Espacio
- c) Tiempo

0	1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Pregunta N°12 *

12. En caso de que la respuesta sea "sí", indique cual de las siguientes opciones se acomodaría más a sus necesidades:

- a) Ducha
- b) Caño
- c) Ambos

0	1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Enviar

Borrar formulario

Nunca envíe contraseñas a través de Formularios de Google.

Google no creó ni aprobó este contenido. [Denunciar abuso](#) - [Condiciones del Servicio](#) - [Política de Privacidad](#)

Google Formularios

Anexo 04

Encuesta de acceso a agua caliente en Canocota, Caylloma

Encuesta: Acceso a Agua Caliente - Canocota

Nombre y Apellidos:	
Sexo:	Edad:

I) DATOS GENERALES

1. ¿Cuántas personas viven en su hogar?
 - a) 1 a 2 ()
 - b) 3 a 4 ()
 - c) 5 a más ()

2. ¿Cuenta con suministro de agua potable?
 - a) Si
 - b) No

3. ¿Cuenta con baño propio?
 - a) Si
 - b) No

4. ¿Cuenta con ducha?
 - c) Si
 - d) No

5. En caso de que la respuesta anterior sea “si” ¿Esta cuenta con suministro de agua caliente?
 - a) Si
 - b) No

6. En caso de que la respuesta sea “no”, ¿Cómo realiza su aseo personal?

- a) Calentar agua en baldes
- b) Duchas públicas “La calera”
- c) No se ducha
- d) Otros: _____

II) SOBRE GENERACIÓN DE RESIDUOS

7. ¿Cuáles son los principales residuos generados en su hogar?
- a) Vegetales
 - b) Restos animales
 - c) Papel y cartón
 - d) Plásticos
 - e) Otros: _____
8. ¿Conoce usted que son los residuos sólidos orgánicos?
- a) Sí
 - b) No
9. ¿Conoce usted lo que es el compostaje?
- a) Sí
 - b) No

III) MANEJO DE RESIDUOS

10. Luego de escuchar la explicación, ¿Estaría dispuesto a implementar un sistema que le brinde agua caliente a base de compost?
- a) Sí
 - b) No
11. En caso de que la respuesta sea “no”, indique sus motivos:
- a) Costo

b) Espacio

c) Tiempo

12. En caso de que la respuesta sea "sí", indique cual de las siguientes opciones se acomodaría más a sus necesidades:

a) Ducha

b) Caño

c) Ambos

Fuente: Elaboración propia basada en (Quiroz Bartra, 2018) y (Chero Soplapuco & Salcedo de la Cruz, 2020)

Anexo 05

Tabla 10

Resultados de la Evaluación para la validación de las preguntas de la encuesta

Evaluación de preguntas																	
N°	Nombre	Profesión	Campo de conocimientos	Pregunt a n°1	Pregunta n°2	Pregunta n°3	Pregunta n°4	Pregunta n°5	Pregunta n°6	Pregunta n°7	Pregunta n°8	Pregunt a n°9	Pregunta n°10	Pregunta n°11	Pregunta n°12	Promedio de calificación por experto	PROMEDIO REDONDEADO
1	Alexis André Laguna de la Gala	Antropologo	Experto en comunidades rurales y vulnerables y Magister en desarrollo sostenible	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
2	Clinton James Fandrich	Licenciado en Ciencias políticas	Experto en Desarrollo de Energías Renovables y gerente de Mundo Sostenible Consultores	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
3	Renato Gonzalo Fernandez Peixoto	Ingeniero Agrónomo	Experto en compostaje y gerente de Plantum	4	5	5	5	5	4	5	5	4	5	4	4	4.58	5
4	Jorge Valdivia Paredes	Ingeniero Alimentario	Experto en compostaje	5	2	4	4	4	4	5	3	2	2	5	2	3.5	4
5	Jhonny Augusto Chomba Paredes	Biólogo	Experto en trabajo con comunidades rurales	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4.92	5
6	Mary Andrea Herrera Pinto	Ingeniera ambiental	Experta en Gestión de Residuos Sólidos y Magister en Gestión Pública	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
7	José Adolfo Quisocola Condori	-	Fundador del Primer Eco Banco del Estudiante Bartselana, experto en gestión y valorización de residuos sólidos	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	4.8	5
8	Belen Stefanny Tejada Tumba	Ingeniera Ambiental	Experta en energías renovables	3	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	4	4.25	4
PROMEDIO X CADA PREGUNTA				4.38	4.50	4.75	4.75	4.75	4.625	4.875	4.75	4.50	4.625	4.75	4.375		
PROMEDIO REDONDEADO				4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4		

Fuente: Elaboración propia basada en los resultados obtenidos en la aplicación del Anexo 05

Anexo 06

Tabla 11

Tabla de resultados obtenidos en la encuesta aplicada

DATOS GENERALES										
Personas encuestadas	Pregunta N°1	Pregunta N°2		Pregunta N°3		Pregunta N°4		Pregunta N°5		Pregunta N° 6
	¿Cuántas personas viven en su hogar?	¿Cuenta con suministro de agua potable?		¿Cuenta con baño propio?		¿Cuenta con ducha?		En caso de que la respuesta anterior sea "si" ¿Esta cuenta con suministro de agua caliente?		En caso de que la respuesta sea "no", ¿Cómo realiza su aseo personal?
		Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	
1	b	1	0	1	0	1	0	0	1	Calentar agua en baldes
2	a	1	0	1	0	0	1	0	1	No se ducha
3	b	1	0	1	0	0	1	0	1	Duchas públicas La Calera
4	c	1	0	0	1	0	1	0	1	Duchas públicas La Calera
5	c	1	0	1	0	1	0	0	1	Calentar agua en baldes
6	c	1	0	1	0	0	1	0	1	Otros: Agua subsuelo
7	c	1	0	1	0	0	1	0	1	Calentar agua en baldes
8	c	1	0	0	1	0	1	0	1	Duchas públicas La Calera
9	a	1	0	1	0	0	1	0	1	Duchas públicas La Calera
10	b	1	0	1	0	0	1	0	1	No se ducha
11	c	1	0	1	0	1	0	0	1	Calentar agua en baldes
12	c	1	0	1	0	1	0	0	1	Calentar agua en baldes
13	b	1	0	1	0	1	0	0	1	Calentar agua en baldes

14	a	1	0	1	0	0	1	1	0	Otros: Casas con agua caliente
15	b	1	0	1	0	0	1	0	1	Duchas públicas La Calera
16	a	1	0	0	1	0	1	0	1	Calentar agua en baldes
17	c	1	0	1	0	0	1	0	1	Duchas públicas La Calera
18	b	1	0	1	0	1	0	0	1	Calentar agua en baldes
19	c	1	0	1	0	0	1	0	1	Duchas públicas La Calera
20	a	1	0	1	0	0	1	0	1	Calentar agua en baldes
21	b	1	0	1	0	0	1	0	1	Duchas públicas La Calera
22	c	1	0	1	0	0	1	0	1	Calentar agua en baldes
23	b	1	0	1	0	0	1	0	1	Calentar agua en leña
24	a	1	0	1	0	0	1	0	1	Calentar agua a leña
25	b	1	0	1	0	1	0	0	1	Calentar agua en baldes
26	a	1	0	1	0	0	1	0	1	No se ducha
27	b	1	0	1	0	0	1	0	1	Duchas públicas La Calera
28	c	1	0	0	1	0	1	0	1	Duchas públicas La Calera
29	c	1	0	1	0	1	0	0	1	Calentar agua en baldes
30	c	1	0	1	0	0	1	0	1	Otros: Agua subsuelo
21	c	1	0	1	0	0	1	0	1	Calentar agua en baldes
32	c	1	0	0	1	0	1	0	1	Duchas públicas La Calera
33	a	1	0	1	0	0	1	0	1	Duchas públicas La Calera
34	b	1	0	1	0	0	1	0	1	No se ducha

35	c	1	0	1	0	1	0	0	1	Calentar agua en baldes
36	c	1	0	1	0	1	0	0	1	Calentar agua en baldes
37	b	1	0	1	0	1	0	0	1	Calentar agua en baldes
38	a	1	0	1	0	0	1	1	0	Otros: Casas con agua caliente
39	b	1	0	1	0	0	1	0	1	Duchas públicas La Calera
40	a	1	0	0	1	0	1	0	1	Calentar agua en baldes
41	c	1	0	1	0	0	1	0	1	Duchas públicas La Calera
42	b	1	0	1	0	1	0	0	1	Calentar agua en baldes
43	c	1	0	1	0	0	1	0	1	Duchas públicas La Calera
44	a	1	0	1	0	0	1	0	1	Calentar agua en baldes
45	b	1	0	1	0	0	1	0	1	Duchas públicas La Calera
46	c	1	0	1	0	0	1	0	1	Casas con agua caliente
47	b	1	0	1	0	0	1	0	1	Calentar agua en leña
48	a	1	0	1	0	0	1	0	1	Calentar agua a leña
49	c	1	0	1	0	1	0	0	1	Calentar agua en baldes
50	c	1	0	1	0	0	1	0	1	Otros: Agua subsuelo
51	c	1	0	1	0	0	1	0	1	Calentar agua en baldes
52	c	1	0	0	1	0	1	0	1	Duchas públicas La Calera
53	a	1	0	1	0	0	1	0	1	Duchas públicas La Calera
54	b	1	0	1	0	0	1	0	1	No se ducha
55	c	1	0	1	0	1	0	0	1	Calentar agua en baldes

56	c	1	0	1	0	1	0	0	1	Calentar agua en baldes
57	b	1	0	1	0	1	0	0	1	Calentar agua en baldes
58	a	1	0	1	0	0	1	1	0	Otros: Casas con agua caliente
59	b	1	0	1	0	0	1	0	1	Duchas públicas La Calera
60	a	1	0	1	0	0	1	0	1	Duchas públicas La Calera
Total	-	60	0	53	7	16	44	3	57	

SOBRE GENERACIÓN DE RESIDUOS									
Personas encuestadas	Pregunta N°7					Pregunta N°8		Pregunta N°9	
	Residuos generados en el hogar					¿Conoce usted que son los residuos sólidos orgánicos?		¿Conoce usted lo que es el compostaje?	
	Vegetales	Restos de animales	Papel y cartón	Plásticos	Otros	Si	No	Si	No
1	0	0	0	1	0	1	0	0	1
2	1	0	0	0	0	1	0	1	0
3	1	1	1	1	0	1	0	1	0
4	1	0	0	0	0	1	0	0	1
5	1	0	0	0	0	1	0	1	0
6	1	0	0	0	0	1	0	0	1
7	0	0	0	1	0	1	0	0	1
8	0	0	0	1	0	1	0	1	0
9	1	0	1	0	0	1	0	0	1
10	1	0	0	0	0	1	0	0	1
11	0	0	0	1	0	1	0	1	0
12	0	0	1	1	0	1	0	0	1
13	1	0	0	1	0	1	0	1	0
14	1	0	0	0	0	1	0	1	0
15	0	0	0	1	0	1	0	1	0
16	1	0	0	0	0	1	0	1	0

17	0	0	1	1	0	1	0	1	0
18	0	0	1	1	0	1	0	1	0
19	0	0	1	0	0	1	0	0	1
20	1	0	0	0	0	1	0	0	1
21	1	0	0	0	0	1	0	0	1
22	1	0	0	0	0	1	0	0	1
23	1	0	0	0	0	1	0	1	0
24	0	0	0	1	0	1	0	0	1
25	0	0	0	1	0	1	0	0	1
26	1	0	0	0	0	1	0	1	0
27	1	1	1	1	0	1	0	1	0
28	1	0	0	0	0	1	0	0	1
29	1	0	0	0	0	1	0	1	0
30	1	0	0	0	0	1	0	0	1
21	0	0	0	1	0	1	0	0	1
32	0	0	0	1	0	1	0	1	0
33	1	0	1	0	0	1	0	0	1
34	1	0	0	0	0	1	0	0	1
35	0	0	0	1	0	1	0	1	0
36	0	0	1	1	0	1	0	0	1
37	1	0	0	1	0	1	0	1	0
38	1	0	0	0	0	1	0	1	0
39	0	0	0	1	0	1	0	1	0
40	1	0	0	0	0	1	0	1	0
41	0	0	1	1	0	1	0	1	0
42	0	0	1	1	0	1	0	1	0
43	0	0	1	0	0	1	0	0	1
44	1	0	0	0	0	1	0	0	1
45	1	0	0	0	0	1	0	0	1
46	1	0	0	0	0	1	0	0	1
47	1	0	0	0	0	1	0	1	0
48	0	0	0	1	0	1	0	0	1
49	1	0	0	0	0	1	0	1	0

50	1	0	0	0	0	1	0	0	1
51	0	0	0	1	0	1	0	0	1
52	0	0	0	1	0	1	0	1	0
53	1	0	1	0	0	1	0	0	1
54	1	0	0	0	0	1	0	0	1
55	0	0	0	1	0	1	0	1	0
56	0	0	1	1	0	1	0	0	1
57	1	0	0	1	0	1	0	1	0
58	1	0	0	0	0	1	0	1	0
59	0	0	0	1	0	1	0	1	0
60	1	0	1	0	0	1	0	0	1
Total	35	2	15	28	0	60	0	30	30

MANEJO DE RESIDUOS									
Personas encuestadas	Pregunta N°10		Pregunta N°11				Pregunta N°12		
	¿Estaría dispuesto a implementar un sistema que le brinde agua caliente a base de compost?		En caso de que la respuesta sea "no", indique sus motivos				En caso de que la respuesta sea "si", indique cual de las siguientes opciones se acomodaría más a sus necesidades		
	Si	No	Costo	Espacio	Tiempo	Otros	Caño	Ducha	Ambos
1	1	0	0	0	0	0	1	0	0
2	1	0	0	0	0	0	0	1	0
3	1	0	0	0	0	0	0	1	0
4	1	0	0	0	0	0	1	0	0
5	1	0	0	0	0	0	0	1	0
6	1	0	0	0	0	0	0	1	0
7	1	0	0	0	0	0	0	1	0
8	1	0	0	0	0	0	0	1	0
9	1	0	0	0	0	0	0	1	0
10	1	0	0	0	0	0	0	1	0
11	1	0	0	0	0	0	1	0	0
12	1	0	0	0	0	0	0	1	0
13	1	0	0	0	0	0	0	1	0

14	1	0	0	0	0	0	1	0	0
15	1	0	0	0	0	0	0	1	0
16	1	0	0	0	0	0	0	1	0
17	1	0	0	0	0	0	0	0	1
18	1	0	0	0	0	0	0	0	1
19	1	0	0	0	0	0	0	1	0
20	1	0	0	0	0	0	0	1	0
21	1	0	0	0	0	0	0	1	0
22	1	0	0	0	0	0	0	1	0
23	1	0	0	0	0	0	0	1	0
24	1	0	0	0	0	0	0	1	0
25	1	0	0	0	0	0	1	0	0
26	1	0	0	0	0	0	0	1	0
27	1	0	0	0	0	0	0	1	0
28	1	0	0	0	0	0	1	0	0
29	1	0	0	0	0	0	0	1	0
30	1	0	0	0	0	0	0	1	0
21	1	0	0	0	0	0	0	1	0
32	1	0	0	0	0	0	0	1	0
33	1	0	0	0	0	0	0	1	0
34	1	0	0	0	0	0	0	1	0
35	1	0	0	0	0	0	1	0	0
36	1	0	0	0	0	0	0	1	0
37	1	0	0	0	0	0	0	1	0
38	1	0	0	0	0	0	1	0	0
39	1	0	0	0	0	0	0	1	0
40	1	0	0	0	0	0	0	1	0
41	1	0	0	0	0	0	0	0	1
42	1	0	0	0	0	0	0	0	1
43	1	0	0	0	0	0	0	1	0
44	1	0	0	0	0	0	0	1	0
45	1	0	0	0	0	0	0	1	0
46	1	0	0	0	0	0	0	1	0

47	1	0	0	0	0	0	0	1	0
48	1	0	0	0	0	0	0	1	0
49	1	0	0	0	0	0	0	1	0
50	1	0	0	0	0	0	0	1	0
51	1	0	0	0	0	0	0	1	0
52	1	0	0	0	0	0	0	1	0
53	1	0	0	0	0	0	0	1	0
54	1	0	0	0	0	0	0	1	0
55	1	0	0	0	0	0	1	0	0
56	1	0	0	0	0	0	0	1	0
57	1	0	0	0	0	0	0	1	0
58	1	0	0	0	0	0	1	0	0
59	1	0	0	0	0	0	0	1	0
60	1	0	0	0	0	0	0	1	0
Total	60	0	0	0	0	0	10	46	4

Anexo 07

Tabla 12

Resultados obtenidos de las tomas de temperatura durante la etapa experimental

Fecha	Día	Temperatura ambiente (°C) - Fuente: Weatherspark		Precipitación total (mm/día) Estación Huasacache	Temperatura de las pilas de compostaje						Temperatura inicial (°C)	Temperatura del agua (°C)								
		7:30 am	11 am		A (abajo)		B (medio)		C (centro)			A			B			C		
					Inicial (7:30 am aprox)	Luego del volteo (11 am aprox)	Inicial (7:30 am aprox)	Luego del volteo (11 am aprox)	Inicial (7:30 am aprox)	Luego del volteo (11 am aprox)		0 min	5 min	10 min	0 min	5 min	10 min	0 min	5 min	10 min
07/02/2022	1	15	20	0	40	-	30	-	36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11/02/2022	5	14	17	0	64	42	58	40	52	46	16	48	38	37	43	38	37	48	47	47
15/02/2022	9	17	18	0	60	40	59	40	58	53	16	56	51	48	51	52	50	56	55	52
18/02/2022	13	15	18	0.2	58	48	62	45	58	34	16	53	52	51	54	55	55	54	50	46
22/02/2022	17	15	16	0.1	60	32	48	30	50	46	18	50	46	42	40	36	34	44	43	41
25/02/2022	20	15	16	5.4	51	46	48	28	45	35	16	34	37	36	42	43	37	37	35	34
01/03/2022	24	12	15	78.8	47	36	45	33	50	38	16	34	37	36	38	37	36	42	42	40
04/03/2022	27	13	15	82.7	46	30	48	38	46	36	16	35	36	34	33	35	35	42	43	41
08/03/2022	31	11	11	91.3	41	28	43	35	46	34	14	29	29	28	27	30	30	38	38	38
Promedio		14	16	29	52	38	49	36	49	40	16	42	41	39	41	41	39	45	44	42

Fuente: Elaboración propia

Anexo 08**Tabla 13***Datos del promedio de temperatura del agua, pila "A"*

Promedio temperatura del agua pila "A"							
Fecha	Día	Temperatura del agua (°C)				Promedio diario	Promedio Total
		0 min	5 min	10 min			
07/02/2022	1	-	-	-	-	41	
11/02/2022	5	48	38	37	41		
15/02/2022	9	56	51	48	52		
18/02/2022	13	53	52	51	52		
22/02/2022	17	50	46	42	46		
25/02/2022	20	34	37	36	36		
01/03/2022	24	34	37	36	36		
04/03/2022	27	35	36	34	35		
08/03/2022	31	29	29	28	29		

*Fuente: Elaboración propia***Anexo 09****Tabla 14***Datos del promedio de temperatura del agua, pila "B"*

Promedio temperatura del agua pila "B"							
Fecha	Día	Temperatura del agua (°C)				Promedio diario	Promedio Total
		0 min	5 min	10 min			
07/02/2022	1	-	-	-	-	40	
11/02/2022	5	43	38	37	39		
15/02/2022	9	51	52	50	51		
18/02/2022	13	54	55	55	55		
22/02/2022	17	40	36	34	37		
25/02/2022	20	42	43	37	41		
01/03/2022	24	38	37	36	37		
04/03/2022	27	33	35	35	34		
08/03/2022	31	27	30	30	29		

Fuente: Elaboración propia

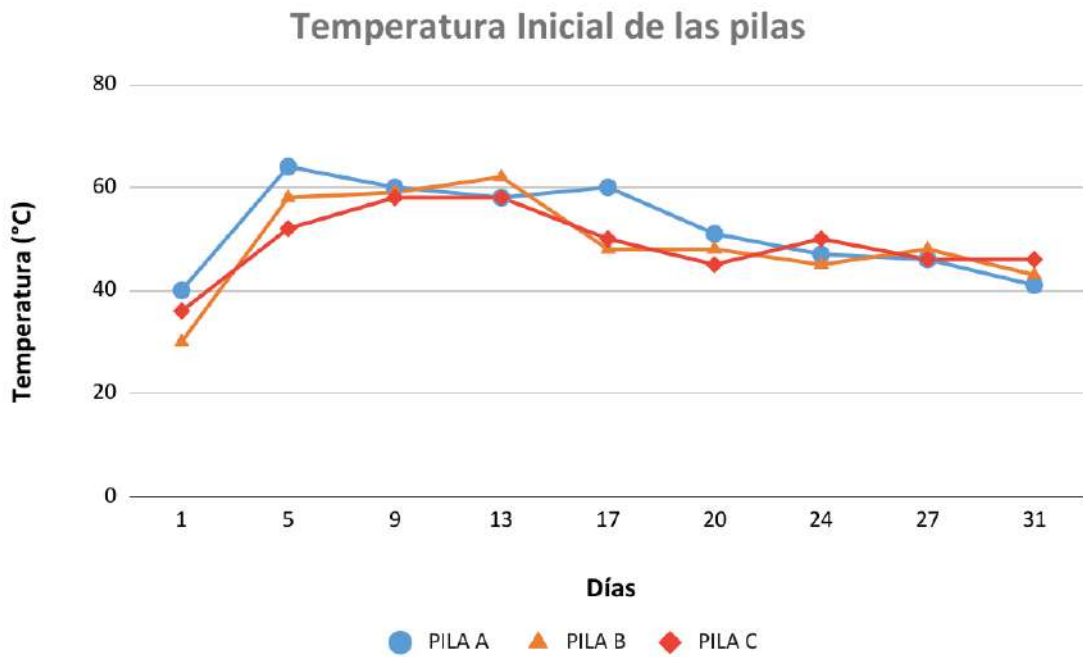
Anexo 10**Tabla 15***Datos del promedio de temperatura del agua, pila "C"*

Promedio temperatura del agua pila "C"						
Fecha	Día	Temperatura del agua (°C)				
		0 min	5 min	10 min	Promedio diario	Promedio Total
07/02/2022	1	-	-	-	-	44
11/02/2022	5	48	47	47	47	
15/02/2022	9	56	55	52	54	
18/02/2022	13	54	50	46	50	
22/02/2022	17	44	43	41	43	
25/02/2022	20	37	35	34	35	
01/03/2022	24	42	42	40	41	
04/03/2022	27	42	43	41	42	
08/03/2022	31	38	38	38	38	

Fuente: Elaboración propia

Anexo 11
Gráfico 17

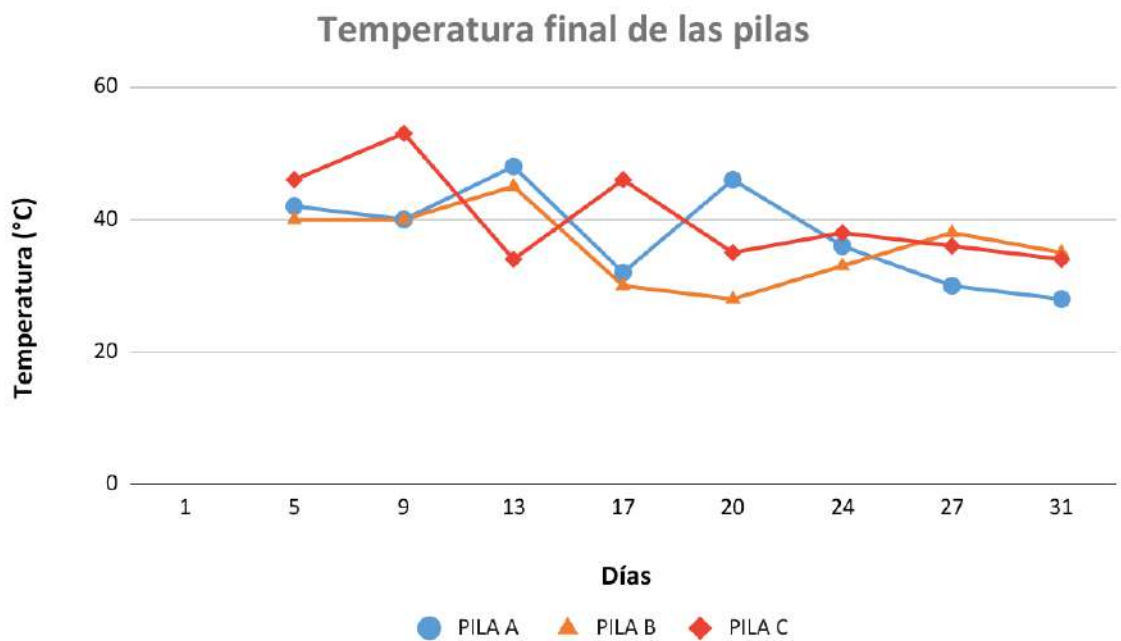
Fluctuación de la temperatura inicial de las pilas



Fuente: Elaboración propia basado en el Anexo 03

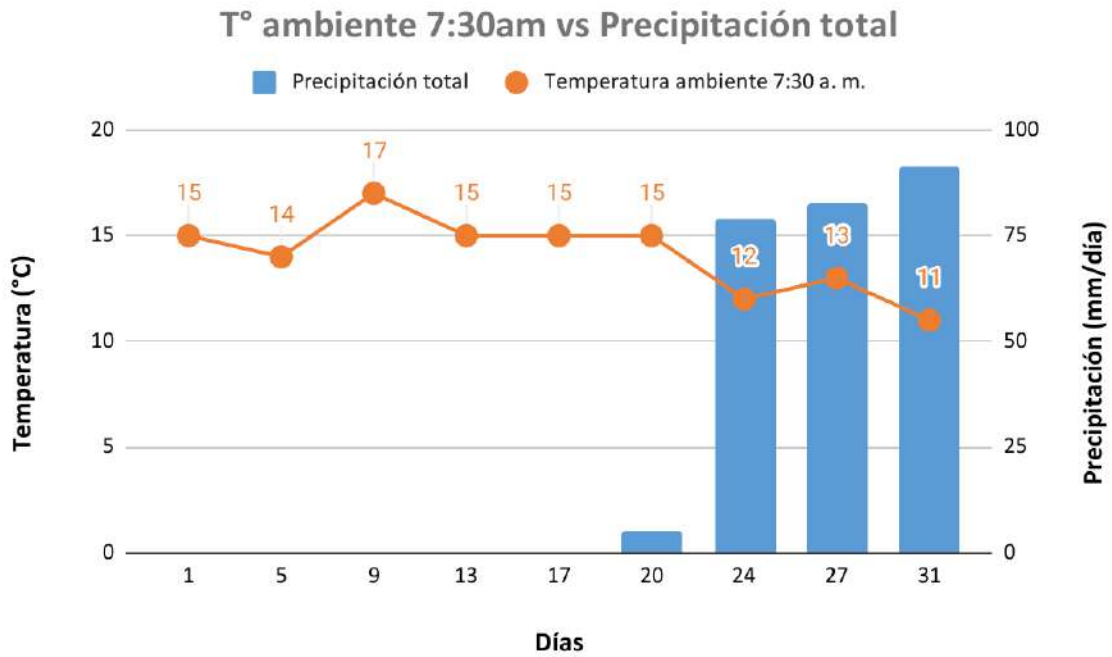
Anexo 12
Gráfico 18

Fluctuación de la temperatura final de las pilas



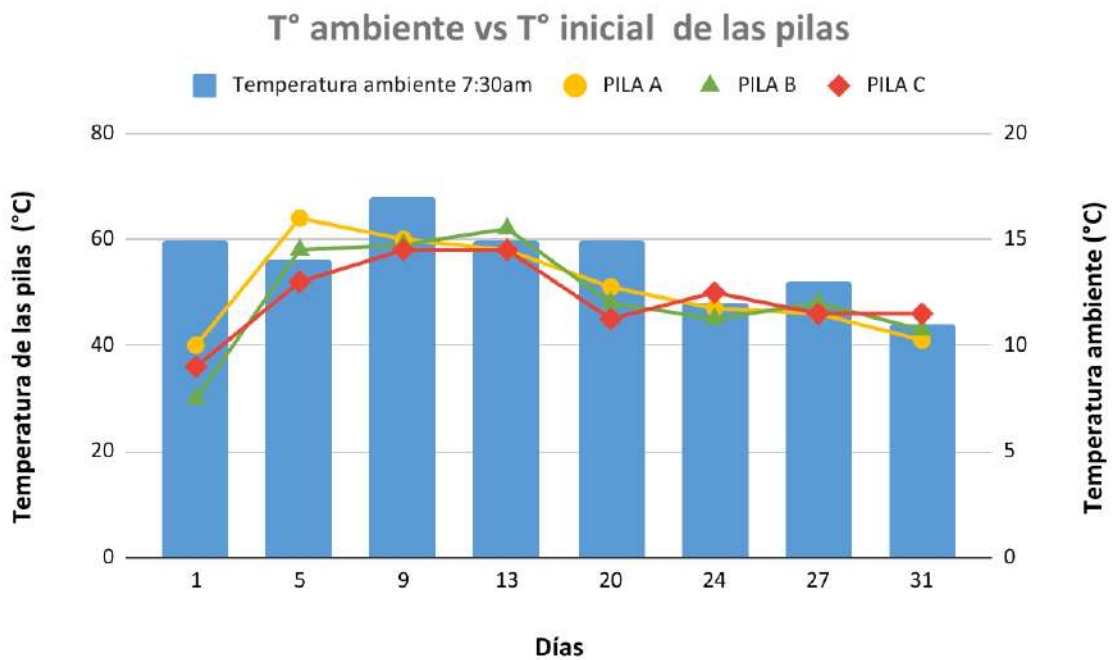
Fuente: Elaboración propia basado en el Anexo 03

Anexo 13
Gráfico 19
Temperatura ambiente vs precipitación



Fuente: Elaboración propia basado en el Anexo 03

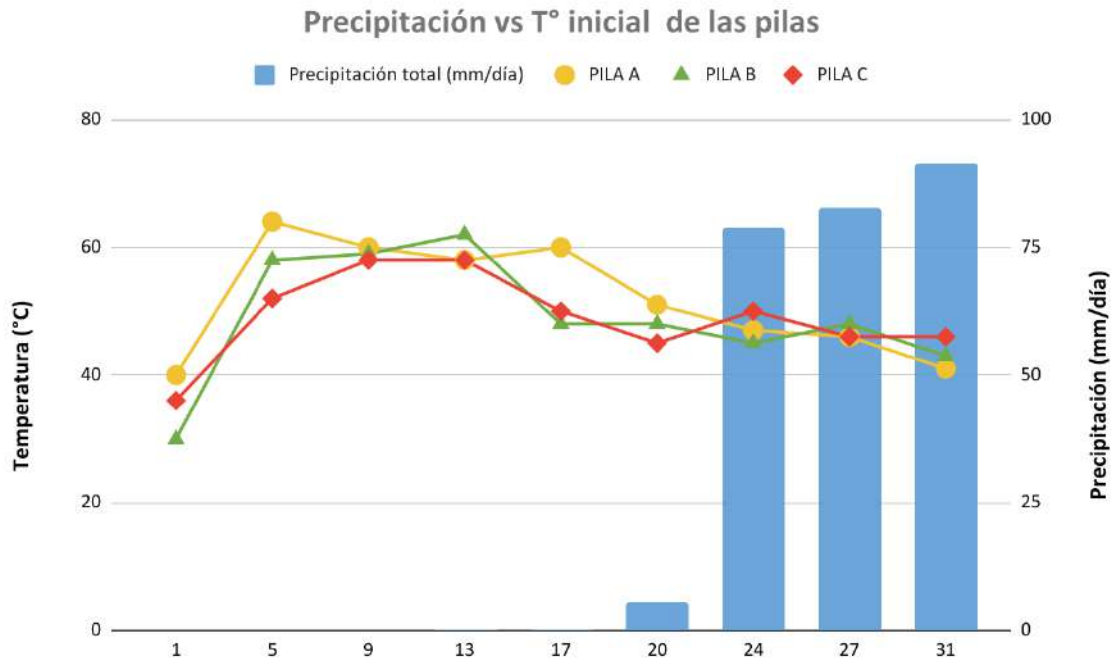
Anexo 14
Gráfico 20
Temperatura ambiente vs temperatura inicial de las pilas



Fuente: Elaboración propia basado en el Anexo 03

Anexo 15
Gráfico 21

Precipitación vs temperatura inicial de las pilas



Fuente: Elaboración propia basado en el Anexo 03

Anexo 16
Tabla 16

Energía Calorífica obtenida durante el proceso experimental

	Tiempo de retención	Masa (kg)	AT (°K)	Q (joules)	Q=M*C*AT	
PILA A	0 min	0.33	26	35915.88	Flujo (ml/seg)	33
	5min	0.33	25	34534.5	C (J/kg°C)	4186
	10min	0.33	23	31771.74		
PILA B	0 min	0.33	25	34534.5		
	5min	0.33	25	34534.5		
	10min	0.33	23	31771.74		
PILA C	0 min	0.33	29	40060.02		
	5min	0.33	28	38678.64		
	10min	0.33	26	35915.88		

Fuente: Elaboración propia

Anexo 17

Tabla 17

Tabla de obtención de costos de tecnologías analizadas en el Análisis Costo-Beneficio Ambiental

Costo de la tecnología					
	Item	Cantidad	Precio unitario	Precio total	TOTAL
Tecnología Allpa Kallpa	Tuberías de cobre (15m c/u)	40	S/ 300	S/ 12 000	S/ 12 380
	Transporte Lima-Chivay (camioneta)	1	S/ 380	S/ 380	
Tecnología terma con paneles solares	Terma con panel solar	65	S/ 2 600	S/ 169 000	S/ 180 020
	Transporte Lima-Chivay (camión)	2	S/ 5 510	S/ 11 020	

Anexo 18

Tabla 18

Tabla de obtención de beneficios ambientales de tecnologías analizadas en el Análisis Costo-Beneficio Ambiental





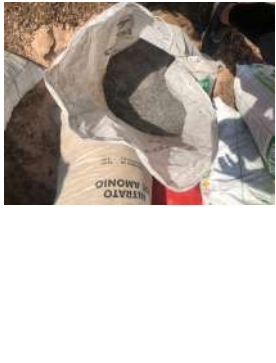







Beneficio Ambiental de la tecnología					
	Item	Cantidad	Precio unitario	Precio total	TOTAL
Tecnología Allpa Kallpa	Tn de CO2 evitadas provenientes de la descomposición de 12 tn de residuos en botadero	110.4 tn CO2	S/ 27.50	S/ 3 010	S/ 21 044
	Tn de CO2 secuestradas (Sumidero de CO2)	1.3 tn CO2	S/ 27.50	S/ 34	
	Venta de compostaje por kg	12 000 kg de compost	S/ 1.5	S/ 18 000	
Tecnología terma con paneles solares	Tn de CO2 emitidas por termas a gas	28.9 Tn de CO2	S/ 27.50	S/ 787	S/ 47 587
	Gastos evitados del uso de termas a gas	780 balones de gas	S/ 60	S/ 46 800	

Abreviaturas

Tn Toneladas
 CO2 Dióxido de carbono

Anexo 19

Panel FotoGráfico Proceso Experimental

Materiales			
Tubería de cobre	Balanza	Hojasca	Guano de caballo
			
Ceniza	Gallinaza	Residuos Agrícolas	Residuos Orgánicos domésticos
			
Manguera Lisa	Termómetro para compost	Termómetro para agua	Pala y Rastrillo
			

Diseño de tuberías		
Tubería A	Tubería B	Tubería C
		

Muestreo de Temperatura (°C) del río Colca
  

DÍA 1

Conformación de las Pilas

Pila "A"



Pila "B"








Pila "C"



Hidratación de las pilas



Temperaturas iniciales de las pilas

Pila "A"	Pila "B"	Pila "C"
 A photograph of a silver thermometer with a red needle, placed on a surface of brown, moist organic matter. The needle points to approximately 20 degrees Celsius.	 A photograph of a silver thermometer with a red needle, placed on a surface of dark, moist organic matter. The needle points to approximately 20 degrees Celsius.	 A photograph of a silver thermometer with a red needle, placed on a surface of brown, moist organic matter. The needle points to approximately 20 degrees Celsius.

DÍA 5

Temperatura inicial de las pilas

Pila "A"	Pila "B"	Pila "C"
		
		







Conexión de caños a los sistemas de tuberías



Temperatura inicial del agua







Temperaturas finales de agua

Pila "A"	Pila "B"	Pila "C"
0 minutos	0 minutos	0 minutos
		
5 minutos	5 minutos	5 minutos
		

10 minutos	10 minutos	10 minutos
		




Volteo y reconfiguración de las pilas

Pila "A"	Pila "B"	Pila "C"
		
		

Control de humedad (Prueba del puño)




Pila "A"	Pila "B"	Pila "C"
		
		
		

Temperaturas finales de las pilas

Pila "A"	Pila "B"	Pila "C"
		

DÍA 9

Temperatura inicial de las pilas




Pila "A"	Pila "B"	Pila "C"
		



Temperatura inicial del agua






Temperaturas finales de agua

Pila "A"	Pila "B"	Pila "C"
0 minutos	0 minutos	0 minutos
		

5 minutos	5 minutos	5 minutos
		
10 minutos	10 minutos	10 minutos
		




Volteo y reconfiguración de las pilas

Pila "A"	Pila "B"	Pila "C"
		

Control de humedad (Prueba del puño)

Pila "A"	Pila "B"	Pila "C"
		
		

Temperatura final (luego de volteo e hidratación de la pila)

pila "A"	Pila "B"	pila "C"
 A circular thermometer with a white face and black markings is placed on a pile of soil and organic matter. The needle points to approximately 45 degrees Celsius. The surrounding material includes dry leaves and twigs.	 A circular thermometer with a white face and black markings is placed on a pile of soil and organic matter. The needle points to approximately 45 degrees Celsius. The surrounding material includes dry leaves and twigs.	 A circular thermometer with a white face and black markings is placed on a pile of soil and organic matter. The needle points to approximately 45 degrees Celsius. The surrounding material includes dry leaves and twigs.

DÍA 13

Temperatura inicial de las pilas

Pila "A"



Pila "B"






Pila "C"












Temperatura inicial del agua



Temperaturas finales de agua

Pila "A"	Pila "B"	Pila "C"
0 minutos	0 minutos	0 minutos
		

		
<p>5 minutos</p>	<p>5 minutos</p>	<p>5 minutos</p>
		
<p>10 minutos</p>	<p>10 minutos</p>	<p>10 minutos</p>
		







Volteo y reconfiguración de las pilas

Pila "A"	Pila "B"	Pila "C"
		
		

Control de humedad (Prueba del puño)

Pila "A"	Pila "B"	Pila "C"
		
		
		

Temperatura final (luego de volteo e hidratación de la pila)

pila "A"	Pila "B"	pila "C"
		
		

DÍA 17

Temperatura inicial de las pilas

Pila "A"



Pila "B"






Pila "C"



Temperatura inicial del agua



Temperaturas finales de agua

Pila "A"	Pila "B"	Pila "C"
0 minutos	0 minutos	0 minutos
		

5 minutos	5 minutos	5 minutos
		 
10 minutos	10 minutos	10 minutos
		



Volteo y reconfiguración de las pilas

Pila "A"	Pila "B"	Pila "C"
		 

Control de humedad (Prueba del puño)

Pila "A"






Pila "B"



Pila "C"



Temperatura final (luego de volteo e hidratación de la pila)

pila "A"	Pila "B"	pila "C"
 A photograph showing a blue thermometer placed on a pile of brown soil and organic matter. The thermometer's red needle points to approximately 45 degrees Celsius.	 A photograph showing a blue thermometer placed on a pile of brown soil and organic matter. The thermometer's red needle points to approximately 45 degrees Celsius.	 A close-up photograph of a blue thermometer. The red needle points to approximately 120 degrees Fahrenheit (49 degrees Celsius). The thermometer has two scales: Celsius (0 to 120) and Fahrenheit (32 to 220).

DÍA 20

Temperatura inicial de las pilas

Pila "A"



Pila "B"






Pila "C"

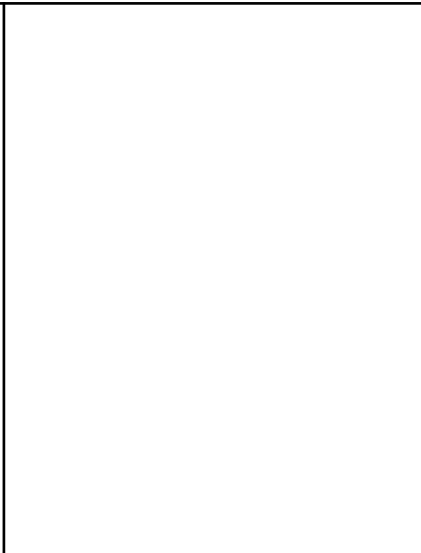


Temperatura inicial del agua



Temperaturas finales de agua

Pila "A"	Pila "B"	Pila "C"
0 minutos	0 minutos	0 minutos
		






5 minutos

5 minutos

5 minutos



10 minutos	10 minutos	10 minutos
		

Volteo y reconfiguración de las pilas

Pila "A"	Pila "B"	Pila "C"
		
		

Control de humedad (Prueba del puño)

Pila "A"









Pila "B"



Pila "C"



Temperatura final (luego de volteo e hidratación de la pila)

pila "A"	Pila "B"	pila "C"
 A circular thermometer with a white face and black markings is placed on a pile of dark, moist soil. The red needle points to approximately 55°C. The scale ranges from -20 to 160°C and -10 to 320°F.	 A circular thermometer with a white face and black markings is placed on a pile of dark, moist soil. The red needle points to approximately 55°C. The scale ranges from -20 to 160°C and -10 to 320°F.	 A circular thermometer with a white face and black markings is placed on a pile of dark, moist soil. The red needle points to approximately 55°C. The scale ranges from -20 to 160°C and -10 to 320°F.
 A wide-angle view of pile A, showing a dark, moist soil mound next to a grey concrete block wall. A small white marker is visible on the soil surface.	 A wide-angle view of pile B, showing a dark, moist soil mound next to a grey concrete block wall. A small blue marker is visible on the soil surface.	 A wide-angle view of pile C, showing a dark, moist soil mound next to a grey concrete block wall. A small yellow marker is visible on the soil surface.

DÍA 24

Temperatura inicial de las pilas

Pila "A"



Pila "B"






Pila "C"



Temperatura inicial del agua



Temperaturas finales de agua

Pila "A"	Pila "B"	Pila "C"
0 minutos	0 minutos	0 minutos
		



5 minutos	5 minutos	5 minutos
		
		

10 minutos



10 minutos



10 minutos



Volteo y reconfiguración de las pilas

Pila "A"	Pila "B"	Pila "C"
		
		
		

Control de humedad (Prueba del puño)

Pila "A"









Pila "B"



Pila "C"








Temperatura final (luego de volteo e hidratación de la pila)

pila "A"	Pila "B"	pila "C"
		
		

DÍA 27






Temperatura inicial de las pilas

Pila "A"	Pila "B"	Pila "C"
 A circular thermometer with a red needle pointing to approximately 25°C, resting on a bed of soil and dry twigs.	 A circular thermometer with a red needle pointing to approximately 25°C, resting on a bed of soil.	 A circular thermometer with a red needle pointing to approximately 25°C, resting on a bed of soil.
 A photograph showing dark, moist soil with some green grass and a concrete wall in the background.	 A photograph showing dark, moist soil with some twigs and a concrete wall in the background.	

Temperatura inicial del agua



Temperaturas finales de agua

Pila "A"	Pila "B"	Pila "C"
0 minutos	0 minutos	0 minutos
		
		



5 minutos



5 minutos



5 minutos



10 minutos



10 minutos



10 minutos





Volteo y reconfomación de las pilas

Pila "A"











Pila "B"








Pila "C"



Control de humedad (Prueba del puño)

Pila "A"	Pila "B"	Pila "C"
		
		
		

Temperatura final (luego de volteo e hidratación de la pila)

pila "A"	Pila "B"	pila "C"
 A circular thermometer with a white face and black markings is placed on a pile of dark, moist soil. The red needle points to approximately 45°C (113°F).	 A circular thermometer with a white face and black markings is placed on a pile of dark, moist soil. The red needle points to approximately 45°C (113°F).	 A circular thermometer with a white face and black markings is placed on a pile of dark, moist soil. The red needle points to approximately 45°C (113°F).
 A photograph showing the location of pile A. It is a dark, moist soil pile situated next to a grey concrete block wall. A small white marker is visible on the soil surface.	 A photograph showing the location of pile B. It is a dark, moist soil pile situated next to a grey concrete block wall. A small white marker is visible on the soil surface.	

DÍA 31

Temperatura inicial de las pilas

Pila "A"



Pila "B"






Pila "C"



Temperatura inicial del agua



Temperaturas finales de agua

Pila "A"	Pila "B"	Pila "C"
0 minutos	0 minutos	0 minutos
		



5 minutos



5 minutos



5 minutos



10 minutos



10 minutos



10 minutos



Compost obtenido		
pila "A"	Pila "B"	pila "C"
