

UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS

FACULTAD DE INGENIERÍAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS

**CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES Y PROPUESTA
DE RELLENO SANITARIO, REALIZADOS EN MATLAB PARA EL DISTRITO DE**

TIQUILLACA, 2025

PRESENTADA POR:

ELVER HIPOLITO CONDORI CONDORI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

PUNO – PERÚ

2025



Repositorio Institucional ALCIRA by [Universidad Privada San Carlos](http://www.upsc.edu.pe) is licensed under a [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



18.11%

SIMILARITY OVERALL

SCANNED ON: 1 SEP 2025, 8:22 PM

Similarity report

Your text is highlighted according to the matched content in the results above.

● IDENTICAL 3.47% ● CHANGED TEXT 14.64%

Report #28286061

ELVER HIPOLITO CONDORI CONDORI // CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES Y PROPUESTA DE RELLENO SANITARIO, REALIZADOS EN MATLAB PARA EL DISTRITO DE TIQUILLACA, 2025 RESUMEN La presente investigación tuvo como objetivo caracterizar los residuos sólidos generados en el distrito de Tiquillaca, con el fin de calcular el modelado ambiental de un relleno sanitario manual mediante el uso del software MATLAB (2025). Se empleó un diseño cuasi experimental, trabajando con una muestra de 85 domicilios, conforme a los lineamientos establecidos en la guía de caracterización de residuos sólidos del Ministerio del Ambiente (MINAM). Los resultados evidenciaron una generación per cápita de 0,27 kg/hab/día y una densidad promedio de 112,13 kg/m³. En cuanto a la composición física, los residuos orgánicos fueron los más predominantes, con 259,2 kg (30,3%), seguidos por bolsas plásticas (98,8 kg; 11,5%), cartón (62,5 kg; 7,3%), plástico PET (59,9 kg; 7%) y cartón multilaminado tipo Tetra Pak (31,6 kg; 3,7%). Otros materiales como metales, caucho, telas y pilas representaron el 11,99% restante. Se concluye que la caracterización de los residuos sólidos en el distrito de Tiquillaca proporcionó la información técnica necesaria para realizar los cálculos del modelado ambiental de un relleno sanitario manual. A través del software MATLAB, se estimó un área requerida de 1,03 hectáreas, adecuada para una vida útil proyectada de 10 años. Por último la implementación de un relleno

UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS
FACULTAD DE INGENIERÍAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL
TESIS

**CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES Y PROPUESTA
DE RELLENO SANITARIO, REALIZADOS EN MATLAB PARA EL DISTRITO DE
TIQUILLACA, 2025**

PRESENTADA POR:

ELVER HIPOLITO CONDORI CONDORI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:

PRESIDENTE

:


Dr. ESTEBAN ISIDRO LEON APAZA

PRIMER MIEMBRO

:


Dra. MARLENE CUSI MONTESINOS

SEGUNDO MIEMBRO

:


M.Sc. FREDY APARICIO CASTILLO SUAQUITA

ASESOR DE TESIS

:


Mg. JULIO WILFREDO CANO OJEDA

Área: Ingeniería, Tecnología

Sub Área: Ingeniería Ambiental

Líneas de Investigación: Ciencias Ambientales

Puno, 08 de setiembre de 2025.

DEDICATORIA

A mis padres FULGENCIO CONDORI HUANCA y ANTONIA CONDORI CANAZA, sin ellos no lo habría logrado, porque me motivaron a seguir adelante a perseguir mis sueños, apoyándome para que salga adelante, con los valores que me inculcaron con respeto, responsabilidad y puntualidad, gracias por todo el apoyo que me dieron y que me enseñaron a nunca rendirme.

A mis hermanos AURELIANO CONDORI CONDORI y ANDRÉS CONDORI CONDORI, que siempre me impulsan a seguir adelante a pesar de mis tropiezos.

A mi hermano GERMÁN CONDORI CONDORI, que desde el cielo me cuida, me protege y me guía para seguir adelante es mi mayor inspiración para seguir adelante.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Universidad Privada San Carlos, a la escuela profesional de Ingeniería ambiental, a sus docentes que me brindaron su enseñanzas, aprendizajes y conocimiento y su gran apoyo.

A mi asesor Mg. JULIO WILFREDO CANO OJEDA por brindar su apoyo, su conocimiento, guiarme y la paciencia que tuvo hacia mí para culminar la presente investigación.

A los miembros de los jurados el Dr. ESTEBAN ISIDRO LEON APAZA, Dra. MARLENE CUSI MONTESINOS, M.Sc. FREDY APARICIO CASTILLO SUAQUITA, por guiarme por concluir el presente trabajo de investigación.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	1
AGRADECIMIENTO	2
ÍNDICE GENERAL	3
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	7
INDICE DE ANEXOS	8
RESUMEN	9
ABSTRACT	10
INTRODUCCIÓN	11

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
1.1.1. PROBLEMA GENERAL.	14
1.1.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS	14
1.2. ANTECEDENTES	14
1.2.1. A NIVEL INTERNACIONAL	14
1.2.2. A NIVEL NACIONAL	15
1.2.3. A NIVEL REGIONAL	17
1.3. OBJETIVOS	20
1.3.1. OBJETIVO GENERAL:	20
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:	20

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. MARCO TEÓRICO	21
2.2. MARCO CONCEPTUAL	28

2.3. MARCO NORMATIVO	30
2.4. HIPÓTESIS	30
2.4.1 HIPÓTESIS GENERAL	30
2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICOS:	31
CAPÍTULO III	
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	
3.1. ZONA DE ESTUDIO	32
3.1.1. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	32
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA	33
3.2.1 POBLACIÓN.	33
3.2.2 MUESTRA.	33
3.3. MÉTODOS Y TÉCNICAS	34
3.3.1 MÉTODO	34
3.3.1. DISEÑO METODOLÓGICO POR OBJETIVOS	35
3.4. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES	41
3.5 MÉTODO O DISEÑO ESTADÍSTICO	41
CAPÍTULO IV	
EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	
4.1. OBJETIVO ESPECÍFICO 01: ANALIZAR EL ESTUDIO DE CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES QUE SE GENERAN EN EL DISTRITO DE TIQUILLACA	43
4.2. OBJETIVO ESPECÍFICO 02: PROGRAMA CODIFICADO EN MATLAB PARA REALIZAR UN CÁLCULO DE UN RELLENO SANITARIO MANUAL DESTINADO AL DISTRITO DE TIQUILLACA, 2025.	47
4.2.1. CÁLCULO DEL ÁREA REQUERIDA	48
4.3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	53
4.4. VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS	54
CONCLUSIONES	58

RECOMENDACIONES	59
BIBLIOGRAFÍA	60
ANEXOS	63

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 01: Tamaño de muestras domiciliarias para la generación per cápita del distrito de Tiquillaca.	34
Tabla 02: Actividades realizadas durante la caracterización.	38
Tabla 04: Operacionalización de variables	41
Tabla 05: Densidad de los residuos sólidos	44
Tabla 06: Densidad de los residuos sólidos	45

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 01: Ubicación del distrito de Tiquillaca	33
Figura 02: Datos para el cálculo del volumen de un relleno, (Organización Panamericana de la Salud, 2007)	48
Figura 04: Guía para el cálculo del volumen de un relleno	50
Figura 05: Codificación del algoritmo en Matlab R2014A del cálculo de un relleno sanitario	50
Figura 06: Software Matlab r2014a para el trabajo de cálculo de un relleno sanitario	51
Figura 07: Empadronamiento a viviendas participantes de la caracterización de residuo sólidos en el distrito de Tiquillaca, 2025	66
Figura 08: Empadronamiento a viviendas participantes de la caracterización de residuo sólidos en el distrito de Tiquillaca, 2025	66
Figura 09: Recolección de residuos sólidos en el distrito de Tiquillaca, 2025	67
Figura 10: Pesaje de muestras en el distrito de Tiquillaca, 2025	67
Figura 11: llenado de residuos al cilindro para determinar la densidad en el distrito de Tiquillaca, 2025.	68
Figura 12: Vaciado de residuos para determinar la composición física de los residuos sólidos en el distrito de Tiquillaca, 2025.	68
Figura 13: Botadero del distrito de Tiquillaca, 2025.	69
Figura 14: Propuesta de lugar para el relleno sanitario del distrito de Tiquillaca, 2025	69

INDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 01: Matriz de consistencia	64
Anexo 02: Código para el cálculo de un relleno sanitario - adquirido desde fundamentos de programación en Matlab.	65
Anexo 03: Panel fotográfico	66
Anexo 04: Cálculo de relleno sanitario del distrito de Tiquillaca 2025	70
Anexo 05: Porcentaje de Humedad de residuos sólidos en el distrito de Tiquillaca, 2025.	71
Anexo 06: Generación per cápita de los residuos sólidos en el distrito de Tiquillaca, 2025.	72

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo caracterizar los residuos sólidos generados en el distrito de Tiquillaca, con el fin de calcular el modelado ambiental de un relleno sanitario manual mediante el uso del software MATLAB (2025). Se empleó un diseño cuasi experimental, trabajando con una muestra de 85 domicilios, conforme a los lineamientos establecidos en la guía de caracterización de residuos sólidos del Ministerio del Ambiente (MINAM). Los resultados evidenciaron una generación per cápita de 0,27 kg/hab/día y una densidad promedio de 112,13 kg/m³. En cuanto a la composición física, los residuos orgánicos fueron los más predominantes, con 259,2 kg (30,3%), seguidos por bolsas plásticas (98,8 kg; 11,5%), cartón (62,5 kg; 7,3%), plástico PET (59,9 kg; 7%) y cartón multilaminado tipo Tetra Pak (31,6 kg; 3,7%). Otros materiales como metales, caucho, telas y pilas representaron el 11,99% restante. Se concluye que la caracterización de los residuos sólidos en el distrito de Tiquillaca proporcionó la información técnica necesaria para realizar los cálculos del modelado ambiental de un relleno sanitario manual. A través del software MATLAB, se estimó un área requerida de 1,03 hectáreas, adecuada para una vida útil proyectada de 10 años. Por último la implementación de un relleno sanitario manual en Tiquillaca es una solución técnica viable para mejorar la gestión de los residuos sólidos en el distrito. Este proyecto no solo contribuirá a la salud pública y la protección del medio ambiente, sino que también promoverá el desarrollo sostenible de la comunidad durante los próximos 10 años.

Palabras clave: Caracterización, MATLAB, Relleno sanitario, Residuos.

ABSTRACT

La presente investigación tuvo como objetivo caracterizar los residuos sólidos generados en el distrito de Tiquillaca, con el fin de calcular el modelado ambiental de un relleno sanitario manual mediante el uso del software MATLAB (2025). Se empleó un diseño cuasi experimental, trabajando con una muestra de 85 domicilios, conforme a los lineamientos establecidos en la guía de caracterización de residuos sólidos del Ministerio del Ambiente (MINAM). Los resultados evidenciaron una generación per cápita de 0,27 kg/hab/día y una densidad promedio de 112,13 kg/m³. En cuanto a la composición física, los residuos orgánicos fueron los más predominantes, con 259,2 kg (30,3%), seguidos por bolsas plásticas (98,8 kg; 11,5%), cartón (62,5 kg; 7,3%), plástico PET (59,9 kg; 7%) y cartón multilaminado tipo Tetra Pak (31,6 kg; 3,7%). Otros materiales como metales, caucho, telas y pilas representaron el 11,99% restante. Se concluye que la caracterización de los residuos sólidos en el distrito de Tiquillaca proporcionó la información técnica necesaria para realizar los cálculos del modelado ambiental de un relleno sanitario manual. A través del software MATLAB, se estimó un área requerida de 1,03 hectáreas, adecuada para una vida útil proyectada de 10 años. Por último la implementación de un relleno sanitario manual en Tiquillaca es una solución técnica viable para mejorar la gestión de los residuos sólidos en el distrito. Este proyecto no solo contribuirá a la salud pública y la protección del medio ambiente, sino que también promoverá el desarrollo sostenible de la comunidad durante los próximos 10 años.

Keywords: Characterization, MATLAB, Sanitary landfill, Waste

INTRODUCCIÓN

La gestión de los residuos sólidos municipales es un desafío crítico para el desarrollo sostenible y el bienestar de las comunidades, especialmente en las zonas rurales y semiurbanas. En este contexto, el distrito de Tiquillaca, ubicado en la región de Puno, enfrenta crecientes dificultades relacionadas con la disposición, manejo y tratamiento de los residuos sólidos generados por su población. Estos residuos, si no se gestionan adecuadamente, representan un riesgo significativo para la salud pública, la calidad ambiental y la estética del entorno.

La caracterización de los residuos sólidos municipales es una herramienta fundamental para comprender las características, composición y volumen de los desechos generados en una determinada área. Con base en esta información, se pueden implementar estrategias eficientes y sostenibles para la gestión de los residuos. En este sentido, el desarrollo de un relleno sanitario adecuado se presenta como una solución viable para la disposición final de los residuos, garantizando el control de la contaminación y la protección de los recursos naturales.

La gestión adecuada de los residuos sólidos municipales (RSM) representa uno de los desafíos ambientales más urgentes para los gobiernos locales, especialmente en zonas rurales y semiurbanas como el distrito de Tiquillaca, ubicado en la región de Puno, Perú. El crecimiento poblacional, los cambios en los patrones de consumo y la limitada infraestructura de disposición final han intensificado la necesidad de implementar soluciones técnicas sostenibles que garanticen la protección del medio ambiente y la salud pública.

Este estudio tiene la finalidad de caracterizar los residuos sólidos generados en el distrito de Tiquillaca mediante metodologías estandarizadas, y con base en dicha caracterización, proponer un diseño preliminar de relleno sanitario que cumpla con los criterios técnicos, ambientales y sociales requeridos. Para ello, se ha utilizado el entorno de programación MATLAB, aprovechando su capacidad para el procesamiento de datos, modelado matemático y simulación de escenarios, permitiendo automatizar cálculos

complejos. Este enfoque busca no solo cumplir con la normativa ambiental vigente en Perú, sino también promover una cultura de planificación territorial responsable y resiliente.

La investigación presenta los siguientes contenidos:

Capítulo I. Planteamiento del problema, antecedentes y objetivos de la investigación.

Capítulo II. Marco teórico, conceptual e hipótesis de la investigación

Capítulo III. Metodología de la investigación

Capítulo IV. Exposición y análisis de los resultados

Conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Uno de los mayores retos ambientales del mundo es la generación de residuos sólidos urbanos. De acuerdo con el Banco Mundial, en 2022 se produjeron más de 2200 millones de toneladas de desechos sólidos y, si no se implementan estrategias sostenibles para su manejo, la proyección es que aumenten a 3400 millones para el año 2050. Una porción significativa de estos residuos no es tratada correctamente, lo que causa contaminación en el aire, el agua y la tierra, además de ser un peligro para la salud pública. La ausencia de infraestructuras, como los rellenos sanitarios tecnificados, continúa siendo un desafío esencial en numerosos países en desarrollo (Banco Mundial, 2018).

En Perú, la administración de residuos sólidos supone un desafío para el medioambiente y la salud pública. De acuerdo con el Ministerio del Ambiente (MINAM), diariamente se producen cerca de 23,000 toneladas de desechos sólidos, y más de la mitad no son gestionados adecuadamente. Debido a que muchos municipios carecen de infraestructura adecuada para el tratamiento o la disposición final, terminan empleando depósitos informales. Además, existen problemas tanto en la tecnología como en la planificación que obstaculizan la implementación de soluciones efectivas y sostenibles basadas en pruebas técnicas. Por lo tanto, es esencial diseñar, calcular y proyectar infraestructuras como los rellenos sanitarios, en particular en zonas rurales o remotas. (Ministerio del Ambiente, 2025)

En la región de Puno, Tiquillaca es una ciudad que carece de un sistema apropiado para manejar los residuos sólidos domésticos. La carencia de una infraestructura sanitaria especializada y la acumulación de residuos han impactado negativamente tanto el medio ambiente local como la salud de los habitantes. Para desarrollar soluciones factibles en el contexto actual, es crucial caracterizar con exactitud los residuos producidos en el distrito. Una opción viable podría ser la construcción de un relleno sanitario manual que se adecúe a las circunstancias técnicas y económicas del distrito. El empleo de herramientas informáticas como MATLAB posibilita realizar cálculos óptimos y precisos, lo que propicia una gestión más técnica y eficaz de los residuos.

1.1.1. PROBLEMA GENERAL.

¿Cuáles son las características de los residuos sólidos generados en el distrito de Tiquillaca para realizar el cálculo del modelado ambiental de un relleno sanitario manual, utilizando el software MATLAB (2025).

1.1.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- ¿Cómo es la caracterización de los residuos sólidos municipales en el distrito de Tiquillaca?
- ¿Cómo será el programa codificado en MATLAB para realizar un cálculo de un relleno sanitario manual destinado al distrito de Tiquillaca, 2025?

1.2. ANTECEDENTES

1.2.1. A NIVEL INTERNACIONAL

Paredes y Velez (2022), En su estudio "Caracterización de los residuos sólidos del sector industrial", analizó las propiedades de los residuos sólidos en el contexto de la investigación. Determinar las alternativas viables para el centro de abastecimiento Chiriyacu, que se encuentra en Quito, fue el objetivo de esta investigación. Se utilizó el método simple de análisis de basura, basado en los principios de Kunitoshi Sakurai, y la técnica de cuarteo del Normativo Mexicano NMX-AA-15 para definir las características de los residuos sólidos. La investigación reveló que el 49,5% de los residuos son cáscaras de frutas, verduras y legumbres; el 17%, residuos de alimentos; el 10,5%, vísceras y

mariscos; el 6%, plásticos; el 4,5%, excrementos de animales pequeños, plumas y especies no vivas; el 3%, empaques y vidrio; el 2%, papel y cartón; y finalmente, el 1% es madera. Con base en estos descubrimientos, se propusieron alternativas para su utilización y se llevó a cabo una evaluación que contemplaba un análisis.

Romero y Vásquez (2022) En su estudio "Caracterización de residuos sólidos domiciliarios y propuesta para su gestión apropiada en el Casco Urbano del Cantón Zaruma, Provincia de El Oro", los autores presentan los siguientes resultados: Para 2022, la generación per cápita es de 0,57 kg/hab/día. Se prevé que, para el año 2041, la población urbana del cantón llegue a 16,455 habitantes y que cada uno de ellos genere un promedio de 0.77 kg/hab/día. La densidad promedio registrada es de 249,34 kg/m³. En resumen, el valor obtenido está situado dentro de un rango que podría considerarse moderado, en comparación con otros valores contemporáneos de menor tamaño. Sin embargo, es fundamental implementar un plan exhaustivo para la gestión de residuos sólidos y planificar la edificación de un vertedero.

En el campo de la salud.

Valqui (2020), se utiliza una herramienta del Sistema de Información Geográfica (SIG) para recolectar residuos biológicos producidos en las fábricas más grandes de Castellón de la Plana, España. Se realizó la cartografía utilizando ArcGIS 10.6, un software que generó datos vectoriales georreferenciados acerca de los lugares donde se producen biorresiduos (por ejemplo, restaurantes, escuelas, hoteles y fruterías) y sobre las características específicas de la infraestructura vial en áreas urbanas. Después de segmentar el campo de estudio en siete áreas, se estableció que la recolección selectiva es más efectiva.

1.2.2. A NIVEL NACIONAL

Esquivel (2023), la presentación de su trabajo tuvo lugar en el distrito de San Pedro, que pertenece a la provincia de Canchis-Cusco, durante 2022. El propósito era identificar las características de los residuos sólidos generados en hogares, fuera de ellos y especiales dentro del distrito. Este estudio emplea un enfoque observacional o no experimental, con

una perspectiva transversal y de carácter descriptivo. Durante el trabajo de campo, se han seguido los métodos establecidos en la "Guía para la caracterización de Residuos Sólidos Municipales", que fue aprobada por Resolución Ministerial No. 457-2018-MINAM. El estudio tuvo lugar entre el 20 y el 26 de diciembre del año dos mil veintidós. El promedio de residuos sólidos por persona al día en el distrito de San Pedro es de 0,46 kg/habitante/día. Respecto a la composición, los residuos sólidos domésticos que son reutilizables representan el 78.28%, mientras que el 21.72% restante se considera "no reaprovechable". El 54,55% de los desperdicios con potencial para ser aprovechados son orgánicos y el 45,45%, inorgánicos. Respecto a los residuos sólidos no domésticos, se aprecia que el 66.11% de ellos son aprovechables; dentro de estos, el 52.28% es inorgánico y el 47.72% es orgánico. La densidad promedio de los residuos sólidos en el hogar es 206,6 kg/m³; la de los residuos sólidos no domiciliarios, en cambio, es 253,70 kg/m². En el distrito de San Pedro, los desechos sólidos producidos tienen un 68.92% de humedad en lo doméstico y un 68.72% en lo no doméstico.

Ruiz (2021), Para establecer si el diseño manual del relleno sanitario incrementaría la gestión de residuos sólidos en el distrito de Tintay, Apurímac, llevó a cabo una investigación que utilizó como resultados un enfoque explicativo y un enfoque descriptivo no experimental. Con una población de 2.740 individuos, producen cada día 0,60 kilogramos de carne. El vertedero, con una extensión de 2502,72 metros cuadrados, cuenta con dimensiones de 36 metros de ancho, 69,62 metros de largo y 9 metros de alto. Se previó que durara diez años. La localización del relleno sanitario resulta adecuada para la perspectiva territorial seleccionada, ya que el área es semiplena. Se anticipa que la implementación del relleno sanitario optimizará la gestión integral de los residuos sólidos en Tintay.

Villanueva (2020) estudia, en su investigación, la tecnología utilizada para crear un depósito de residuos sólidos en Santa Cruz Chancay, Cajamarca. El diseño del depósito de residuos sólidos se adaptará a las necesidades de los habitantes de Buena Vista. Se emplea la tecnología. El enfoque utilizado fue científico, con un diseño de tipo

experimental y una población compuesta por 112 casas del centro urbano de Buena Vista, que se seleccionaron como muestra. Se concluye que el vertedero proyectado será manual, debido a que la producción diaria por persona no excede las 20 toneladas de basura. Esta cantidad debe ser gestionada durante toda la vida útil del vertedero utilizando zanjas como método de tratamiento.

Moreno (2020), En su estudio "Modelamiento y Simulación del Diseño de un Relleno Sanitario Semi-mecanizado", buscó, simular y modelar el diseño de un relleno sanitario semi-mecanizado. Su estudio tiene un diseño experimental y se caracteriza por ser aplicado y tener un nivel de correlación. Las conclusiones señalan que se han establecido los parámetros y variables más significativos para calcular el volumen de material de cobertura, además del área y el volumen necesarios para planificar un relleno sanitario a lo largo de su vida útil. Los datos obtenidos fueron la base para seleccionar un procedimiento para el modelo. El software Matlab fue empleado en el modelo de sanitarios manuales, facilitando la estimación del área de 63641 hectáreas (63641 metros cuadrados) que le corresponde.

1.2.3. A NIVEL REGIONAL

Arhuata (2024) llevó a cabo una investigación con el propósito de evaluar un relleno sanitario donde se analizó la gestión y el tratamiento final de los residuos sólidos producidos en Acora, Puno. El procedimiento de recolección de datos tiene como objetivo caracterizar los residuos sólidos urbanos generados en los hogares, con el fin de determinar la cantidad de desechos producidos por cada persona y su disposición. Los resultados muestran que cada individuo genera 0,51 kg de residuos sólidos al día y que la clase más frecuente son los desechos orgánicos. El método de trinchera fue el que se empleó, e incluye un total de 40 trincheras, cada una con una superficie de 1328.19 m² y un volumen de 4078 m³. Para el confinamiento de residuos sólidos se requiere un área de 6.6187 m², la cual tiene una capacidad de 18,378.48 m³. Los hallazgos de la investigación indican que es necesario mejorar el tratamiento integral de los residuos sólidos en Acora;

por ende, para minimizar el peligro de contaminación en la zona, es fundamental establecer habilidades apropiadas para gestionar estos residuos.

Cari (2023), en su investigación "Determinación de lugares ideales para el botadero sanitario de residuos sólidos en Lampa, Puno", busca identificar zonas adecuadas para la eliminación final de desechos sólidos en Lampa. b) Organizar la estabilidad del terreno con el propósito de edificar el vertedero sanitario. Se utilizaron las tres opciones Kallpapata, Aricato y Queneque para llevar a cabo la investigación. Además, se realizó el análisis espacial para la superposición de capas por medio de ArcGIS 10.3, según lo dispuesto en el D.S. No. 14-2017 MINAM. La primera opción (Kallpapata) ha obtenido 409 puntos, la segunda (Aricato) 411 y la tercera (Queneque) 397. Setenta casas y noventa y nueve locales.

Martinez (2023), Diagnóstico de caracterización para el municipio distrital de Plateria - Puno, 2023. El primer paso del proceso fue caracterizar los residuos sólidos; la segunda fase, por su parte, incluyó una valoración de las actividades relacionadas con su gestión a través de encuestas. Finalmente, se realizó una propuesta apropiada para el plan mencionado. Se empleó la guía metodológica del MINAM (2018) para esta metodología, en la que se colaboró con 54 familias. Las labores ejecutadas incluyeron la recolección de muestras durante una semana, así como el pesaje, la investigación de la composición física y el análisis del promedio de humedad. Los resultados obtenidos determinaron que la generación per cápita es de 0,29 kg/hab/día, su composición física de 39,81%; en residuos orgánicos, 13,80 % bolsas de plástico, 8,28 % residuos sanitarios, 5,12 %, latas de leche, atún, aluminio, y obteniendo una densidad promedio fue de 107,31 kg/m³, la humedad promedio es de 76.13 %, los resultados de la encuesta: 52 % indican que depositan sus residuos en bolsas de plástico, un 41 % indican que botan sus basuras una vez a la semana, un 93 % indica que no segrega en su vivienda, un 93 % indica que no sabe dónde es el destino final de su basura, un 46 % indica que la labor del municipio es malo, un 30 % indica que un problema es que el vehículo que recolecta no pasa por sus viviendas, un 63 % indican que si tienen conocimiento de que es reciclar, un 91 % indica

que si les gustaría participar en campañas de reciclaje, un 39 % indican que habiendo más capacitaciones mejoraría la problemática de gestión de residuos sólidos, por último se hizo una propuesta de manejo de residuos sólidos, esto con el fin de mejorar las problemáticas que existe en la actualidad en el distrito.

Godoy (2020), en su tesis presentada en 2020, fue caracterizar los residuos sólidos domésticos generados durante el año 2019 en la municipalidad distrital de Paucarcolla (Puno). Su investigación es cuantitativa, de tipo descriptivo y no experimental. Se empleó la guía metodológica (MINAM, 2018) para la metodología. El distrito se separó en dos zonas: A y B. En la labor se usaron 75 casas. Las tareas llevadas a cabo incluyeron el pesaje, la humedad media, la recolección y la evaluación de la composición física de las muestras de residuos sólidos domésticos que fueron recolectadas en un lapso de ocho días. La generación per cápita de residuos sólidos domiciliarios se estableció en 0,41 kg/hab/día, con una composición física del 39,81%. Esto incluye el 5,12% de latas de leche, atún y aluminio; el 8,28% de residuos sanitarios; y el 13,80% de bolsas plásticas. El promedio de densidad semanal fue de 107,31 kg/m³. Los residuos sólidos domésticos tuvieron un promedio de humedad del 27,12%. Se ideó una estrategia para administrar desechos sólidos, con el objetivo de llevar a cabo procedimientos de planificación utilizando directrices metodológicas.

Gutiérrez (2025) la caracterización de los desechos sólidos generados en las casas del distrito de Atuncolla, con el fin de realizar una modelización medioambiental de relleno sanitario manual empleando MATLAB como instrumento. Esta investigación utiliza un diseño descriptivo y un enfoque cuantitativo; la caracterización de residuos sólidos se realizó siguiendo la guía metodológica (MINAM, 2018), mientras que el modelado ambiental del relleno sanitario se realizó con MATLAB. Los resultados que se presentan a continuación fueron obtenidos tras la implementación de los procedimientos metodológicos con el fin de cumplir los objetivos propuestos: Cada persona genera 0.43 kg/hab/día de residuos sólidos, con una densidad de 103.8 kg/m³, un 50.72% de humedad y un 49.28% de materia seca. En términos de composición física, los desechos

orgánicos representan la mayor parte con un 46.3%, seguidos por las bolsas plásticas (10.9%) y, en tercer lugar, los residuos sanitarios (7.3%). La extensión de terreno que se requiere para modelar el relleno sanitario manualmente utilizando el software Matlab fue calculada en 2,24 hectáreas. Por lo tanto, se concluye que los hallazgos obtenidos a través del análisis de residuos sólidos domiciliarios en términos de generación per cápita, composición física, densidad, humedad y materia seca fueron útiles para llevar a cabo la modelización ambiental codificada para el relleno sanitario manual utilizando Matlab en el distrito de Atuncolla. Durante un período útil de diez años, esta modelización determina una superficie de 2.24 hectáreas.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL:

Caracterizar los residuos sólidos generados en el distrito de Tiquillaca con el fin de realizar el cálculo del modelado ambiental de un relleno sanitario manual, utilizando el software MATLAB, 2025.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Analizar el estudio de caracterización de los residuos sólidos municipales que se generan en el distrito de Tiquillaca, 2025
- Desarrollar un programa codificado en MATLAB para realizar un cálculo de un relleno sanitario manual destinado al distrito de Tiquillaca, 2025

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. MARCO TEÓRICO

Caracterización de Residuos Sólidos

La presente investigación se enfoca en la evaluación de la composición, cantidad, densidad y humedad de los residuos producidos en una región determinada, tal como una ciudad o un distrito. Esta información es esencial para una administración eficaz de desechos, propiciando una planificación apropiada de almacenamiento, recolección, traslado y disposición final. Adicionalmente, promueve la evaluación de la factibilidad de instaurar programas de reciclaje y otras estrategias de manejo de residuos. Según lo expuesto por MINAM (2018), es una entidad dedicada a la investigación y el desarrollo.

Residuos sólidos.

Los residuos sólidos representan componentes sin valor económico para su propietario, transformándose en desechos no reutilizables. Adicionalmente, se alude a cualquier objeto, sustancia o componente en estado sólido que ha sido desechado, abandonado o descartado, careciendo de utilidad, lo que conduce a actividades ejecutadas en domicilios o establecimientos similares. Se reconocen múltiples categorías de desechos, que abarcan los comerciales, originados en establecimientos de bienes y servicios; los residuos de limpieza en espacios públicos, generados durante procesos e investigaciones médicas en hospitales; los residuos industriales, derivados de las operaciones de diversas ramas industriales; y los residuos agropecuarios, derivados de las actividades agrícolas y pecuarias (Ministerio del Ambiente, 2025).

De acuerdo con el Decreto del Estado No 1278(2017), titulado "Ley de gestión integral de Residuos Sólidos", se definen los desechos sólidos como cualquier objeto, sustancia, material o elemento que se produce a partir del consumo o utilización de un bien o servicio. En el presente escenario, se evidencia una perturbación en el ambiente, ocasionada por la producción de residuos sólidos y la insuficiencia de vertederos en la nación para su disposición final. La aparición de recolectores no autorizados de residuos sólidos que reciclan productos para su posterior comercialización conlleva consecuencias considerables en el ámbito social y económico.

Categorización de los Residuos Sólidos

Se pueden emplear múltiples métodos para la clasificación de los residuos sólidos; sin embargo, la metodología más apropiada es la empleada por el Ministerio del Ambiente para su evaluación. Según los datos suministrados por el Ministerio de la Marina y Alimentación (MINAM), el año 2025 se percibe como el más cercano.

Recursos contaminantes provenientes del entorno residencial: Los desechos provenientes del entorno residencial aluden a los residuos, tanto de carácter peligroso como no peligroso, generados por las actividades cotidianas en las residencias. Esta categoría comprende los desechos producidos por aparatos eléctricos y electrónicos, indumentaria, baterías, mobiliario, entre otros componentes. Principalmente, los residuos urbanos se clasifican en dos categorías: orgánicos e inorgánicos.

Recursos derivados de actividades comerciales: Los desechos derivados de las operaciones comerciales emergen directamente de las mismas, ya sean de gran envergadura o de transacciones de menor envergadura. Las actividades comerciales específicas, incluyendo la restauración, la hostelería y el almacenamiento, favorecen un aumento en la generación de residuos.

En un contexto de salud pública: Los residuos médicos comprenden un conjunto diverso de sustancias y productos, ya sean en estado sólido, líquido o gaseoso, originados por actividades en el sector salud. En la falta de una administración adecuada, estos desechos pueden transformarse en un epicentro de contaminación y propiciar la

emergencia de patologías. Los agentes patógenos y punzocortantes constituyen una amenaza potencial para cualquier sujeto capaz de interactuar con estos agentes.

Los desechos derivados del proceso industrial incluyen: Los residuos resultantes del proceso industrial se derivan de operaciones tales como la producción, transformación, utilización, limpieza, mantenimiento y consumo efectuadas por las entidades encargadas de la producción. En términos generales, estos desechos son clasificados como irrecuperables debido al elevado costo de las tecnologías requeridas o a la ausencia de métodos avanzados para su reutilización.

Residuos Agropecuarios: estos representan los residuos derivados de las actividades agrícolas e incorporan elementos como contenedores para fertilizantes, pesticidas y otros agroquímicos pertinentes.

RELLENO SANITARIO RELLENO SANITARIO RELLENO SANITARIO RELLENO SANITARIO FUNDAMENTOS SANITARIOS

Un relleno sanitario se define como un espacio asignado para el tratamiento final de residuos, en el que se implementan diversas estrategias para mitigar los impedimentos vinculados a otros métodos de gestión de residuos, como los vertederos. Estos preceptos incorporan un riguroso análisis de las repercusiones ambientales, económicas y sociales, desde la planificación y elección del emplazamiento hasta la vida útil del vertedero. La instauración de un vertedero de desechos demanda la elección de un terreno que satisfaga las condiciones técnicas apropiadas, teniendo en cuenta elementos como la topografía, el nivel de las aguas subterráneas y la disponibilidad de material adecuado para la cobertura de los residuos. Durante el proceso de acumulación de desechos en un depósito de residuos, la estructura es compactada a través de maquinaria y recubierta con una capa de tierra y otros materiales, para posteriormente ser recubierta con una capa de tierra de aproximadamente 40 cm de espesor. Este proceso se intensifica hasta que se alcanza la capacidad máxima del vertedero. Esta es una metodología de ingeniería enfocada en la disposición de desechos sólidos sobre el suelo, que contribuye a la protección del medio ambiente a través de su dispersión (JARAMILLO, 2021). El

estudio enfocado en la caracterización de los residuos sólidos residenciales facilitará la identificación de diversos componentes esenciales: La generación per cápita (GPC), también conocida como generación diaria de residuos por individuo, constituye un indicador que facilita la comparación en múltiples contextos de investigación. El volumen total de residuos producidos por los hogares, calculado en base al número de individuos residentes. Densidad, un elemento fundamental para la concepción de sistemas adecuados de almacenamiento, transporte y eliminación. La clasificación de los residuos, que orienta hacia acciones específicas como el reciclaje de materiales orgánicos e inorgánicos. Además, el grado de humedad existente es crucial para la validación o descarte de tecnologías particulares para el tratamiento final de los residuos (Jaramillo, 2021).

Sólido de origen municipal.

Los residuos sólidos urbanos se refieren a aquellos que se gestionan dentro de un municipio, y frecuentemente se categorizan en residuos de índole doméstica y comercial. Estos son reubicados en vertederos de residuos o instalaciones reguladas para su eliminación apropiada. Los desechos sólidos presentes en espacios urbanos o municipales se caracterizan como residuos, desechos y desperdicios generados en las áreas urbanas o sus áreas adyacentes. Incorpora una diversidad considerable de materiales, que van desde desechos alimentarios hasta empaquetados de artículos de uso doméstico. Los residuos urbanos abarcan aparatos eléctricos y electrónicos de segunda mano, indumentaria, baterías, acumuladores, mobiliario, además de desechos y escombros generados por tareas de construcción y reparaciones en el hogar. Desde una perspectiva global, los residuos domésticos constituyen la mayor proporción de los residuos producidos por las diversas actividades humanas. A nivel mundial, se estima que cada individuo produce un promedio de un kilogramo de residuos urbanos diariamente; una proporción de los residuos domésticos totales se destina a un vertedero, mientras que el resto se destina al reciclaje y a vertederos informales (Arhuata, 2014).

El residuo sólido no perteneciente a la propiedad pública.

Los desechos no urbanos representan una amenaza significativa para el medio ambiente natural y para la salud colectiva. Los residuos minerales comprenden metales perjudiciales tales como el plomo, el mercurio y el cianuro, entre otros. Es fundamental depositar estos materiales de alto riesgo en espacios específicamente diseñados para su administración; los residuos sólidos no municipales se refieren a aquellos que no se originan de las actividades cotidianas de los hogares o empresas. Se evidencian en ámbitos productivos como la construcción, la industria, la agricultura, los centros de salud, entre otros sectores productivos. Estos residuos pueden ser clasificados en categorías de riesgo o no riesgo, incorporando una variedad de categorías de residuos no municipales. Según lo expuesto por MINAM (2018), se puede deducir que MINAM (2018) es una entidad dedicada a la investigación y el desarrollo.

La Generación Per Cápita (GPC) DE Residuos Domiciliarios

El término hace referencia a la generación diaria de residuos sólidos por habitante en el contexto distrital, cuantificada en kilogramos por habitante por día, y se origina de las investigaciones de caracterización efectuadas por las municipalidades provinciales y distrital. La proyección anual del volumen total de residuos sólidos en el hogar, expresado en toneladas, se basa en la GPC y la población urbana correspondiente del distrito correspondiente. La estimación de la generación de residuos sólidos en el ámbito municipal contempla tanto los residuos de origen doméstico como los no domésticos, con los primeros constituyendo el 70% y los segundos el 30% del total producido, según las estimaciones del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales (CEPIS). Los desechos no domésticos abarcan aquellos generados por entidades comerciales, tiendas de alimentación, mercados, instituciones educativas y servicios de limpieza. De acuerdo con las declaraciones de MINAM (2018), se puede inferir que dicha entidad se dedica a la investigación y el desarrollo.

HUMEDAD:

Dentro del contexto de los desechos sólidos, se alude a la proporción de agua presente en estos, un elemento que puede influir en su peso y composición. Esta dimensión se manifiesta como esencial para determinar el volumen total de residuos y su comportamiento durante el proceso de tratamiento y disposición definitiva. La determinación de la humedad se realiza mediante la utilización de una muestra representativa de los desechos generados, la cual debe ser transportada a un laboratorio para su análisis siguiendo una metodología específica. Este procedimiento puede ser instaurado en múltiples etapas, las cuales comprenden la selección de la muestra, su traslado y su preparación para los análisis, asegurando de este modo la adecuación y precisión del procedimiento. (Herrera y su equipo (2016))

LA COMPOSICIÓN FÍSICA DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS

Se refiere a la proporción de los diversos materiales constituyentes, habitualmente expresada en porcentaje de peso. Los materiales contemplados pueden comprender componentes como la materia orgánica, papel, cartón, plásticos, vidrio, metales y textiles, entre otros elementos. La composición física juega un papel fundamental en la identificación de tácticas alternativas para el tratamiento y administración de residuos. Ministerio del Ambiente, 2023

Componentes principales de los residuos sólidos:

- **Materia orgánica:** Incluye restos de alimentos, restos de jardín, y otros materiales biodegradables.
- **Papel y cartón:** Periódicos, revistas, cajas, envases, etc.
- **Plásticos:** Botellas, envases, bolsas, juguetes, etc.
- **Vidrio:** Botellas, frascos, envases.
- **Metales:** Latas, aluminio, acero, etc.
- **Otros:** Textiles, madera, cuero, caucho, cenizas, etc.

DENSIDAD DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS

Se trata de una variación significativa en función de su tipo y de su compactación, con valores que pueden fluctuar entre aproximadamente 50 kg/m³ y 400 kg/m³ para la basura

en general. Se han reportado densidades medias para residuos sólidos domésticos que oscilan entre aproximadamente 160 kg/m³ sin compactación y más de 300 kg/m³ compactados, de acuerdo con investigaciones específicas. Según MINAN (2016)

MATLAB

MATLAB representa un lenguaje de programación y un ambiente de cálculo numérico, extensamente utilizado por ingenieros y académicos para la evaluación de datos, la formulación de algoritmos y la modelización. Incorpora un entorno de escritorio diseñado para el análisis iterativo, utilizando un lenguaje que articula directamente las matemáticas de matrices y arrays. MATLAB también ofrece herramientas de programación convencionales, como la administración de flujo y la gestión de errores. De acuerdo con The MathWorks, Inc. (2022), esta presenta una variabilidad significativa en relación con su composición y su grado de compactación, con valores que pueden fluctuar entre aproximadamente 50 kg/m³ y 400 kg/m³ para el volumen total de residuos. Se ha registrado que las densidades promedio de desechos sólidos derivados de actividades domésticas oscilan entre aproximadamente 160 kg/m³ sin compactación y más de 300 kg/m³ compactados, según investigaciones específicas. Según la información suministrada por MINAN (2016), se puede postular que MINAN (2016) es un estudio de investigación de naturaleza interdisciplinaria.

a) Características principales de MATLAB:

- Enfoque Numerológico: MATLAB ha sido desarrollado con el objetivo de interactuar con matrices y vectores, lo cual fomenta la resolución de problemas matemáticos y la manipulación de datos.
- Desarrollo de Algoritmos: Promueve la generación y evaluación de algoritmos dentro de un entorno interactivo.
- Evaluación de Datos: Ofrece herramientas para la representación gráfica y el examen de datos, incluyendo el análisis estadístico, el aprendizaje automático y el procesamiento de señales.

- Modelización y Simulación: Fomentar la creación de modelos y la simulación de sistemas de elevada complejidad.
- Objet Oriented Programming: Promueve la organización y la reutilización del código a través de la definición de clases y objetos.
- Integración de lenguajes complementarios: MATLAB posee la habilidad de interactuar con código desarrollado en otros lenguajes de programación, como C/C++, Java y Python, fomentando así la reutilización de código preexistente y la cooperación entre equipos de trabajo.
- Estrategias para la Profesionalización: MATLAB dispone de un Entorno de Desarrollo Integrado (IDE, por sus siglas en inglés) que integra instrumentos enfocados en la depuración y gestión de versiones.

b) Aplicaciones habituales de MATLAB:

- Ingeniería: El examen de señales, la formulación de sistemas de control, la manipulación de imágenes y la modelización de sistemas físicos.
- Ciencia: Se llevan a cabo investigaciones en campos como la física, la química, la biología, el modelado matemático y el análisis de datos.
- En el ámbito económico: Economía: Análisis de riesgos, modelización financiera y optimización de portafolios. Economía: Análisis de riesgos, modelización financiera y optimización de portafolios. Economía: Análisis de riesgos, modelización financiera y optimización de portafolios. Evaluación de riesgos, modelización financiera y optimización de portafolios a través de la evaluación y optimización de portafolios..

2.2. MARCO CONCEPTUAL

- La clasificación de residuos sólidos se refiere al procedimiento de identificación y clasificación de diversas categorías de residuos producidos en una región determinada, evaluando su composición, cantidad, procedencia y otras características pertinentes (MINAN, 2018).
- La composición física de los desechos sólidos se caracteriza como la proporción relativa de los diversos componentes materiales que constituyen un volumen

específico de estos, comúnmente expresada en porcentajes por masa. Conforme a la información proporcionada en MINAN (2018), se puede deducir que MINAN (2018) es un estudio de carácter investigativo.

- La densidad de los desechos sólidos constituye un indicador esencial que demuestra la correlación entre el peso de un volumen de residuo y su correspondiente volumen volumétrico. Conforme a la información proporcionada en MINAN (2018), se puede deducir que MINAN (2018) es un estudio de carácter investigativo.
- La humedad en residuos sólidos alude a la presencia de agua en una muestra de residuo sólido, comúnmente representada como una fracción del peso total de la muestra (humedad en peso húmedo) o como un porcentaje del peso seco de la muestra (humedad en peso seco). Conforme a la información proporcionada en MINAN (2018), se puede deducir que MINAN (2018) es un estudio de carácter investigativo.
- Residuos sólidos: Se alude a los residuos resultantes de las actividades humanas que se eliminan al finalizar su ciclo de vida, contribuyendo de este modo a la polución ambiental. Según los datos suministrados por el Ministerio de Agricultura y Alimentación, el año 2023 corresponde al año 2023.
- Consolidación sanitaria: Los depósitos de residuos se distinguen por ser zonas delimitadas ubicadas en terrenos específicos destinados al tratamiento de desechos. Estas zonas son previamente preparadas a través de la puesta en marcha de estrategias orientadas a la erradicación de la contaminación del suelo, el aire y, finalmente, del agua. Conforme a la información suministrada por MINAM (2016), se puede deducir que la entidad en cuestión se orienta hacia la investigación y el desarrollo.
- Entorno Residencial Urbano: Los residuos generados en residencias, instituciones comerciales, oficinas y servicios, incluyendo aquellos no categorizados como peligrosos, exhiben paralelismos debido a su naturaleza o composición con los generados en dichos contextos o tareas. Conforme a la información suministrada por

MINAM (2016), se puede deducir que la entidad en cuestión se orienta hacia la investigación y el desarrollo.

- **Categorías Orgánicas:** Los residuos orgánicos se caracterizan como materiales biodegradables derivados de fuentes vegetales o animales, que poseen la habilidad de descomposición natural, evolucionando en una variedad de formas de materia orgánica. Conforme a la información suministrada por MINAM (2016), se puede deducir que la entidad en cuestión se orienta hacia la investigación y el desarrollo.
- Se define el efluente inorgánico como materiales descartados que no se originan de fuentes biológicas, en contraste con los residuos orgánicos. Estos residuos inorgánicos son el producto de procedimientos productivos en el contexto industrializado. Conforme a las afirmaciones de MINAM (2018), se puede deducir que la entidad en cuestión se enfoca en la investigación y el desarrollo.

2.3. MARCO NORMATIVO

- El artículo 27314 de la Ley General de Residuos Sólidos (2000) establece que el artículo 27314 de la Ley General de Residuos Sólidos (2000) es un mandato.
- Normativa número 014-2017-MINAM – Regulación de la Ley General de Residuos Sólidos:
- Asesoramiento metodológico para la elaboración del estudio de Caracterización de Residuos Sólidos Municipales (EC-RSM).
- NNTP 900.121:2006 - Rellenos sanitarios: especificaciones y condiciones mínimas requeridas NTP 900.121:2006 - Rellenos sanitarios: especificaciones y condiciones mínimas requeridas

2.4. HIPÓTESIS

2.4.1 HIPÓTESIS GENERAL

La caracterización de los residuos sólidos domiciliarios generados en el distrito de Tiquillaca permite realizar un modelado ambiental adecuado de un relleno sanitario manual mediante cálculos desarrollados en el software MATLAB, 2025.

2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICOS:

- La caracterización de los residuos sólidos domiciliarios generados en el distrito de Tiquillaca ofrece una base fundamental para el modelamiento de un relleno sanitario para el distrito de Tiquillaca, 2025
- La herramienta MATLAB permite realizar un cálculo ambiental eficiente de un relleno sanitario manual para el distrito de Tiquillaca , 2025

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. ZONA DE ESTUDIO

3.1.1. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Posicionada en el epicentro administrativo de Puno, Tiquillaca se ubica entre los quince distritos de la provincia de Puno, Perú. El emplazamiento preciso se sitúa en las longitudes $15^{\circ} 48' 42.1''$ S y $70^{\circ} 1' 54.2''$ W, a una altitud de 3885 metros sobre el nivel del mar. Esta localización opera en el rango temporal de UTC-5.

El estudio se centra en el distrito de Tiquillaca, situado en la provincia de Puno. Esta región se distingue por su elevación significativa, con coordenadas exactas de longitud oeste $15^{\circ} 50' 15''$ y latitud sur $70^{\circ} 01' 18''$. Las coordenadas UTM aluden a la región 19L dentro del sistema de coordenadas WGS-84.

La zona de Tiquillaca se caracteriza por extensas planicies revestidas de pajonales. La posición geográfica en la cordillera peruana se ubica a una elevación de 3.885 metros sobre el nivel del mar. El límite meridional se extiende hasta los distritos de Mañazo y el distrito moquegua de Ichuña; en la región septentrional, se extiende hasta los distritos de Atuncolla e Vilque.



Figura 01: Ubicación del distrito de Tiquillaca

Fuente: Google Maps.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1 POBLACIÓN.

La investigación se centra en el distrito de Tiquillaca, que, de acuerdo con los datos suministrados por el Instituto Nacional de Estadística e Informática en 2017, cuenta con una población de 2043 individuos. La cuantificación de las unidades residenciales en la región se basó en la información suministrada por la Gerencia de Desarrollo Urbano de la Municipalidad distrital de Tiquillaca, donde se documentó un total de 540 unidades residenciales habitadas.

3.2.2 MUESTRA.

Para determinar la proporción de la muestra requerida para la caracterización de residuos sólidos, se adoptará el método prescrito por MINAM (2018). Esta metodología postula que la envergadura de la muestra debería corresponder al número absoluto de hogares del sitio de estudio. La distribución y la determinación del muestreo se llevarán a cabo conforme a los criterios y tablas contenidos en la referida guía.

Tabla 01: Tamaño de muestras domiciliarias para la generación per cápita del distrito de Tiquillaca.

Rango de viviendas (N)	Tamaño de muestra (n)	Muestras de contingencia (20% de n)	Total, de muestras domiciliarias
Hasta 500 viviendas	45	9	54
Más de 500 viviendas y hasta 1000 viviendas	71	14	85
Más de 1000 viviendas y hasta 5000 viviendas	94	19	113
Más de 5000 viviendas y hasta 10000 viviendas	95	19	114
Más de 10000 viviendas	96	23	119

Fuente: Guía para la caracterización de residuos sólidos municipales MINAM (2018).

En el presente escenario, el distrito de Tiquillaca cuenta con un total de 540 viviendas, y conforme a la tabla precedente, se tuvo un total de 85 domicilios como muestra. El método de muestreo adoptado será un muestreo aleatorio simple, previo a la consulta de la disponibilidad de los individuos poblacionales dispuestos a colaborar en la investigación.

3.3. MÉTODOS Y TÉCNICAS

3.3.1 MÉTODO

Para poder realizar el proceso de investigación se realizaron las siguientes actividades.

Se utilizó la guía metodológica del (MINAM, 2018).

Cálculo en MATLAB: Para el modelado del relleno sanitario y la predicción de la acumulación de residuos.

3.3.1. DISEÑO METODOLÓGICO POR OBJETIVOS

3.3.1.1 Metodología para el objetivo específico 01.

Analizar el estudio de caracterización de los residuos sólidos municipales generados en el distrito de Tiquillaca, 2025

a. Generación per cápita de los residuos sólidos municipales del distrito de Tiquillaca, 2025

Para estimar la generación per cápita (GPC) y total de residuos sólidos domiciliarios en la zona en el distrito de Tiquillaca se llevó a cabo la siguiente planificación:

- Se formó un equipo de trabajo.
- Se garantizo la disponibilidad del equipo logístico.
- Se preparó la unidad vehicular para la recolección y transporte de residuos sólidos.
- Se adquirieron los materiales y equipos necesarios, como bolsas, balanza digital, cilindros, manta de segregación, wincha, caja hermética, materiales de escritorio, herramientas de limpieza, equipo de protección personal y útiles de aseo personal.
- Se identificaron muestras, centrándose en las generadas por los domicilios.
- Durante el trabajo de campo, se seguirán los siguientes procedimientos:
- Invitación a los representantes de cada domicilio para su participación.
- Manejo de muestras, que incluye la recolección, codificación, traslado y descarga (almacenamiento) de cada muestra.
- Para la determinación de la GPC, se aplicó la fórmula pertinente.

$$GPC = \frac{\text{dia1} + \text{dia2} + \text{dia3} + \text{dia4} + \text{dia5} + \text{dia6} + \text{dia7}}{\text{numero de habitantes (7dias)}}$$

Calcular la proporción de residuos sólidos orgánicos e inorgánicos. se seguirán las etapas de planificación y trabajo de campo ya delineadas. La determinación de la composición física se llevó a cabo después del pesaje de las muestras, siguiendo las instrucciones de una nueva guía y empleando el método del cuarto.

b. Cálculo de la densidad de los residuos sólidos municipales generados en el distrito de Tiquillaca, 2025

Para el cálculo de la densidad de los residuos sólidos, se dividió el peso por el volumen que llenará el residuo de cada día utilizando la siguiente fórmula:

$$Densidad(s) = \frac{W}{Vr} = \frac{W}{\pi * \left(\frac{D}{2}\right)^2 * (Hf - Ho)}$$

Donde:

S= Densidad de los residuos sólidos (kg/m³)

W= Peso de residuo sólido

Vr= Volumen del residuo sólido

D= Diámetro del cilindro

Hf= Altura total del cilindro

Ho= Altura libre del cilindro

π= Constante (3.14.16)

c. Cálculo de la densidad de los residuos sólidos municipales generados en el distrito de Tiquillaca, 2025

- En este proceso se colocó un plástico en lugar pavimentado, luego colocaron los residuos sólidos ya pesados, formando un montón.
- Una vez realizado este proceso se recolectarán los residuos sólidos por el tipo de residuo. Se tomaron en cuenta los 18 tipos de residuos.
- Por último fueron pesados para determinar sus porcentajes de cada tipo de residuos.

Recaudación de datos de los pobladores y detalles del estudio.

a) Sensibilización a las viviendas del distrito

Se entregaron volantes educativos sobre la caracterización. Con estos volantes se detallaron los trabajos que realizarán las viviendas participantes en el estudio. (Anexo N° 07, figura 13)

b) Invitación a las viviendas del distrito.

Se realizó la invitación para la participación de las viviendas, se entregó un oficio múltiple a cada vivienda participativa, el oficio detalla cómo será la participación de las viviendas durante los días del estudio. (Anexo 04, figura 11).

c) Empadronamiento a las 75 viviendas que participaron en el estudio

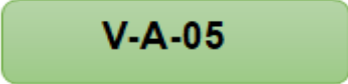
El registro de patrones comenzó a llenar los patrones el cual debió contar con el nombre de la persona, la dirección, el número de habitantes de cada domicilio y su firma. (Anexo N° 03, figura 08 y 09).

d) Codificación de muestras

Luego de haber empadronado a las viviendas participantes se procedió al pegado de Stickers Fosforescentes verificando el tipo de generador domiciliario (V), la zona al que corresponde y el número de vivienda muestreada

Cada vivienda recibió un código único que se pegó por medio de un sticker para poder identificarlo. (Anexo N° 09, figura 17,18).

La codificación de las viviendas se realizó



V-A-05

Siendo:

V: generador de domicilio (vivienda).

A: zona a la que le corresponde.

05: número de vivienda muestreada.

Reparto de las bolsas

Se inició del 14 al 21 de julio del 2025, las bolsas fueron codificadas con el número de código de cada vivienda; este reparto de bolsas fue a diario durante los días del estudio.

Elección de un sitio adecuado para la recolección de datos

Los residuos sólidos recolectados fueron llevados a la cancha deportiva municipal distrital de Paucarcolla, en este sitio fue donde se realizó, el pesaje de las muestras, la densidad, la composición física, la muestra de humedad y el llenado del registro de datos.

Procedimiento de seguridad e higiene

Se dio charlas a las personas que apoyaron en el estudio, sobre lo importante que fue el uso de los implementos de seguridad, y la importancia del aseo adecuado después de la segregación de los residuos, fue muy importante que todos los trabajadores hayan estado con sus equipos de protección personal (EPPs). Para evitar daños durante las actividades de caracterización de los residuos sólidos domiciliarios.

Tabla 02: Actividades realizadas durante la caracterización.

Actividades a realizar	Normas de seguridad
Recolección selectiva	Uso de todos los equipos de protección personal (guantes, mascarilla, chaleco).
Descarga de bolsas	Descargar las bolsas cuidadosamente y sin tirarlas.
Pesaje de bolsas	Si las bolsas son muy pesadas, se deben manipular entre dos operarios.
Traslado de bolsas para segregación	Llevar las bolsas a la zona de trabajo, de ser muy pesadas, manipularlas entre dos operarios.
Segregación	Abrir las bolsas y vaciarlas cuidadosamente en la zona de trabajo (sobre la manta plástica), usando los equipos de protección personal.
Determinación de la densidad	Levantar con cuidado el cilindro, para evitar golpes.
Disposición final	Acopiar y embolsar los residuos analizados, para su posterior recolección de parte de la Municipalidad.

Fuente: (MINAM, 2018)

Proceso de un adecuado manejo de las muestras domiciliarias



Figura 02: Procedimiento para el manejo de las muestras domiciliarias

Fuente: (MINAM, 2018)

a) Recolección de muestras domiciliarias

Este proceso se inició, de 7:00 a 10.00 a.m., se recogieron las muestras de cada vivienda participativa y se entregó una bolsa nueva, para la recolección se requirió de una movilidad el cual fue una motocarga marca katers de Municipalidad distrital de Tiquillaca. (Figura 10). Fue necesario que el operario respete los horarios que se establecieron, así mismo el último día de recolección se tuvo que indicar a las viviendas participantes que la fase de campo había concluido.

b) Transporte de muestras domiciliarias

Las muestras se colocaron en la moto carga, este proceso se realizó en cada punto de recolección, se evitó tirar las muestras y se acomodaron para evitar que se caigan durante la recolección.

c) Descarga de muestras domiciliarias

Las muestras se llevaron al centro de acopio para su respectivo análisis. Luego se descargaron las bolsas procurando no tirarlas.

Tabla 03: Tipo de residuos.

TIPOS DE RESIDUOS		DETALLES
1.	Residuo Orgánico	Considera restos de alimentos, cáscaras de frutas y vegetales, excrementos de animales menores, huesos y similares.
2.	Madera, follaje	Considera ramas, tallos, raíces, hojas y cualquier otra parte de las plantas producto del clima y las podas.
3.	Papel	Considera papel blanco tipo bond, papel periódico, entre otros.
4.	Cartón	Considera cartón marrón, cartón blanco, cartón mixto
5.	Vidrio	Considera vidrio blanco, vidrio marrón, vidrio verde.
6.	Plástico PET	Considera botellas de bebidas, gaseosas, aceites.
7.	Plástico duro	Considera frascos, bateas, otros recipientes.
8.	Bolsas	Considera a aquellas bolsas chequeras o de despacho.
9.	Tetrapak	Considera envases de leche, jugos, etc.
10.	Tecnopor y similares	Si es representativo considerarlo en este rubro, de lo contrario incorporarlo en otros.
11.	Metal	Considera latas de atún, leche, conservas, fierro, envases de gaseosa en lata, marcos de ventana, etc.
12.	Telas, textiles	Considera restos de telas, textiles
13.	Caucho, cuero, jebe	Considera restos de cartuchos, cuero o jebes.
14.	Pilas	Considera residuos de pilas.
15.	Restos de medicinas, focos, etc.	Considera restos de medicina, focos, fluorescentes, envases de pintura, plaguicidas y similares.
16.	Residuos sanitarios	Considera papel higiénico, pañales y toallas higiénicas.
17.	Residuos inertes	Considera, tierra, piedras y similares.
18.	Otros (Especificar)	Considera aquellos restos que no se encuentran dentro de la clasificación por tipo de residuo.

Fuente: Anexos de la Guía para la Caracterización de Residuos Sólidos Municipales (MINAM, 2018)

4. Final de la caracterización de residuos sólidos

Este proceso se llevó a cabo durante los 7 días de la caracterización de los residuos sólidos serán llevados a su disposición final.

3.3.1.2. Metodología para el objetivo específico 02.

Desarrollar un programa codificado en MATLAB para realizar un cálculo de un relleno sanitario manual destinado al distrito de Tiquillaca, 2025

Para el cálculo se utilizó el software matlab, en el cual se calculó mediante el programa codificado que permite la simulación del modelado de un relleno sanitario manual para el distrito de Tiquillaca, El programa incorpora las variables y parámetros definidos anteriormente, así como las ecuaciones y algoritmos necesarios para simular el comportamiento del relleno sanitario. (Anexo 02)

3.4. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

Tabla 04: Operacionalización de variables

Variable	Dimensiones	Indicadores
Variable Dependiente: Caracterización de residuos sólidos	Caracterización de residuos sólidos	GPC, composición física, densidad de los residuos sólidos
Variable Independiente: Modelamiento de relleno sanitario manual	Volumen de material de cobertura Volumen del relleno sanitario Área del relleno sanitario	m ³ /día, m ³ /año m ³ /año, m ³ 4 m ²

3.5 MÉTODO O DISEÑO ESTADÍSTICO

El diseño empleado en la presente investigación es experimental

- Caracterización de residuos domiciliarios

$$Z_C = \frac{X(\text{promedio de GPC}) - x(i) (\text{valor de GPC})}{S (\text{desviación estándar})}$$

Donde:

X (promedio de GPC) = 0.27

S (desviación estándar) = 0.24

Análisis estadístico

El análisis estadístico se efectúa sobre los datos obtenidos de generación per cápita.

Según la metodología descriptiva en la guía de caracterización de residuos sólidos que fue elaborada por (CEPIS, 1996.)

- Cálculo de relleno sanitario manual

Cálculo del modelo matemático que representa el procedimiento de cálculo de ejemplo bibliográfico (Hernández, Fernández, Baptista, 2010).

CAPÍTULO IV

EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.1. OBJETIVO ESPECÍFICO 01: ANALIZAR EL ESTUDIO DE CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES QUE SE GENERAN EN EL DISTRITO DE TIQUILLACA

- **Estudio de caracterización de los residuos sólidos municipales que se generan en el distrito de Tiquillaca, 2025.**
 - a. Generación per cápita de los residuos sólidos municipales que se generan en el distrito de Tiquillaca, 2025.

Los resultados de la GPC de residuos sólidos domiciliarios en el distrito es 0.27 kg/hab/día, (Anexo 06) estos resultados están por debajo de lo obtenido por (Godoy (2020), en su tesis realizada en el distrito de Paucarcolla – Puno, Los resultados de la generación per cápita de residuos sólidos domiciliarios es 0,41 kg/hab/día.

- b. Densidad de los residuos sólidos municipales que se generan en el distrito de Tiquillaca, 2025.

Se consideraron datos obtenidos del día 1 al día 7, obteniendo la densidad de los residuos sueltos (sin compactar). los datos obtenidos, el promedio total de la densidad durante los 7 días que se desarrolló el estudio, (tabla 13 y 14).

Tabla 05: Densidad de los residuos sólidos

DIA	D(m)	Hf(m)	Ho(m)	V Residuos (m)	Peso (Kg)	densidad por dia
1	0.56	0.89	0.255	0.160	18.2	113.75
2	0.56	0.89	0.235	0.150	17.37	115.80
3	0.56	0.89	0.218	0.170	21.54	126.71
4	0.56	0.89	0.223	0.240	15.8	65.83
5	0.56	0.89	0.162	0.200	20.2	101.00
6	0.56	0.89	0.212	0.180	20.8	115.56
7	0.56	0.89	0.2	0.190	27.8	146.32
Densidad promedio en kg/m³.						112.13

La tabla 05 muestra el promedio total de la densidad de los residuos sólidos domiciliarios en el distrito de Tiquillaca, 2019 es de 112.13 kg/m³. Este resultado es parecido a los obtenido por Martínez (2023) obteniendo una densidad promedio de 107,31 kg/m³.

- c. Composición física de los residuos sólidos municipales que se generan en el distrito de Tiquillaca, 2025.

Tabla 06: Densidad de los residuos sólidos

Tipo de residuos sólidos	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Total Kg	Composi ción porcentual %
	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg		
1.Residuo orgánico	49.3	36.2	51.7	59.6	46.5	36.1	29.1	259.2	30.3
2.Madera, follaje	6	2.8	6.4	5.4	3.4	4.4	6.5	34.9	4.08
3.Papel	4.6	4.2	5.7	4.7	7	10.5	11.4	48.1	5.62
4.Cartón	8.3	4.3	10	9	12.7	8.4	9.8	62.5	7.30
5.Vidrio	8.1	5.9	6.1	5.1	3.5	6.5	8.4	43.6	5.09
6.Plástico PET	12.8	3.8	7.6	4.5	11.6	10.3	9.3	59.9	6.99
7.Plástico duro	4.4	3.1	1.2	1	5.9	6.3	4.9	26.8	3.13
8.Bolsas	20.5	15	12.5	11.5	7.1	16.5	15.7	98.8	11.54
9. Cartón Multilaminado (Tetra Pack)	2.2	2.2	5.4	4.6	5	6.3	5.9	31.6	3.69
10.Tecnop or y similares	3.1	2.3	4.2	3.6	2	3.5	4.9	23.6	2.76
11.Metal	8.1	6.8	4.8	4.2	5.5	—	2.6	32	3.74
12.Telas, textiles	4.2	3.2	0.5	2.2	2.9	4.6	2.5	20.1	2.35
13.Caucho, cuero, jebe	0.2	2.57	6.1	5.11	6.2	5.6	4.6	30.38	3.55
14.Pilas	0.5	1.4	0.5	1.2	—	0.4	1.5	5.5	0.64
15.Restos de medicinas, focos, etc.	—	0.5	0.2	1.1	0.1	0.15	0.4	2.45	0.29
16.Residuos sanitarios	9.2	4.6	8.3	5.3	7	6.9	7.8	49.1	5.73
17.Otros desechos electrónicos	1.3	1	1.2	4.2	6.1	8.9	5.1	27.8	3.25
Total	93.5	99.87	132.4	132.31	132.5	135.35	130.4	856.33	100

La tabla 06 proporciona un análisis detallado sobre la caracterización y manejo de los residuos sólidos domiciliarios en la Municipalidad Distrital de Tiquillaca, 2025. La información está dividida en distintos tipos de residuos, con su respectiva cantidad de residuos generados durante cada día de la semana (de Día 1 a Día 7), el total acumulado y la composición porcentual de cada tipo de residuo en relación con el total.

Resumen de los residuos más destacados:

1. Residuos Orgánicos: Con un total de 259.2 kg, constituyen el 30.3% del total de los residuos generados. Este tipo de residuo es el más abundante, lo que refleja la gran cantidad de residuos orgánicos generados por los hogares durante la semana.
2. Cartón: Generando un total de 62.5 kg, representando el 7.30% del total, el cartón es otro de los residuos más significativos. Este tipo de residuo parece estar muy presente en la basura domiciliaria, probablemente debido al consumo de productos empaquetados.
3. Plástico PET: Con 59.9 kg (6.99%), es otro material que representa una parte considerable del total de residuos. Este plástico es utilizado principalmente en envases de bebidas, lo cual es común en los hogares.
4. Bolsas: Con un total de 98.8 kg, las bolsas representan el 11.54%, lo que destaca la gran cantidad de bolsas utilizadas y desechadas a lo largo de la semana. Esto sugiere la necesidad de una gestión más eficiente de los envases plásticos en el hogar.
5. Cartón Multilaminado (Tetra Pack): Este tipo de residuo, con 31.6 kg (3.69%), también tiene un peso significativo en la composición total. Es habitual encontrar envases de este material en productos líquidos como jugos y leche.
6. Otros residuos: Materiales como metal, caucho, telas, y pilas, aunque representan un porcentaje menor, siguen siendo importantes en términos de su manejo y disposición final. Estos materiales, que suman en total 11.99%, necesitan una atención especial debido a su naturaleza y la forma en que afectan el medio ambiente.

Esquivel (2023), El 54,55% de los desperdicios con potencial para ser aprovechados son orgánicos y el 45,45%, inorgánicos. Respecto a los residuos sólidos no domésticos, se aprecia que el 66.11% de ellos son aprovechables; dentro de estos, el 52.28% es inorgánico y el 47.72% es orgánico.

- Humedad de los residuos sólidos municipales que se generan en el distrito de Tiquillaca, 2025.

La humedad de los residuos sólidos domiciliarios fue llevada a su respectivo análisis en el laboratorio de pastos y forrajes de la facultad de ciencias agrarias de la Universidad Nacional del Altiplano Puno el cual fue de 74.8% de humedad y 25.2% de materia seca, (Anexo 05).

Dicho resultado es superior a los que obtuvo Esquivel (2023). En cuanto a la humedad de los residuos sólidos producidos en el distrito de San Pedro, se registra un 68.92% de humedad en el ámbito doméstico y un 68.72% en el no doméstico.

4.2. OBJETIVO ESPECÍFICO 02: PROGRAMA CODIFICADO EN MATLAB PARA REALIZAR UN CÁLCULO DE UN RELLENO SANITARIO MANUAL DESTINADO AL DISTRITO DE TIQUILLACA, 2025.

En este proceso se realizó el cálculo del área requerida para el relleno sanitario, para la disposición final de los residuos sólidos domiciliarios en el distrito de Atuncolla.

- **Cálculo de volumen necesario del relleno**

Determinación de las variables de entrada y parámetros para el modelo matemático del diseño de un relleno sanitario.

A partir de información bibliográfica del curso de autoaprendizaje: Diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales (Organización Panamericana de la Salud, 2007).

Uno de los proyectos de la administración municipal de una ciudad es construir un sanatorio como solución definitiva a sus problemas. Para iniciar el proceso de selección del sitio, es necesario conocer la cantidad de basura producida, el volumen del relleno y el área requerida. Para ello, se dispone de la siguiente información:

Población en el área urbana	30000 habitantes	
Tasa de crecimiento de la población	2.60%	
Volumen de desechos sólidos recolectados en el vehículo recolector	252 m ³ /semana	
Cobertura del servicio de recolección de residuos sólidos	90%	
Densidad de los residuos sólidos		
En el vehículo recolector (sin compactación)	300 kg/m ³	
Recién compactados en el relleno sanitario manual	450 kg/m ³	
Estabilizados en el relleno sanitario manual	600 kg/m ³	
	Aumento ppc	1.00%
(20%-25%)	Material de cobertura	20.00%
(20%-40%)	Factor área	30.00%
	Profundidad	6 m

Figura 02: Datos para el cálculo del volumen de un relleno, (Organización Panamericana de la Salud, 2007)

En la figura 02 se muestran los datos adquiridos a partir de información bibliográfica del curso de autoaprendizaje: Diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales (Organización Panamericana de la Salud, 2007).

Por último, para el manejo de la información, se realizó el de una hoja de cálculo, para los cálculos y resultados resumidos en el (Anexo 04).

4.2.1. CÁLCULO DEL ÁREA REQUERIDA

Cálculo del área por rellenar. A partir de la siguiente ecuación, si se asume una profundidad promedio de seis metros, las necesidades del área serán:

$$A_{RS} = \frac{V_{RS}}{h_{RS}}$$

Reemplazando:

- $\left(\frac{9246 m}{6m}\right) = 1541 m^2$

Para 3 años de vida útil:

- $\left(\frac{14287m}{6m}\right) = 2381 m^2$

El área requerida como se aprecia en el resultado para una vida útil de 03 años del relleno sanitario para el distrito de Tiquillaca.

Para el primer año con un total de 1541 m² asimismo para el tercer año el total de 2381 m². (Anexo 04)

4.2.1.1 Cálculo del área requerida en hectáreas

Cálculo del área total.- Teniendo en cuenta un factor de aumento F, para las áreas adicionales. En este caso se asume un 30%. Es decir: hectáreas

Para el primer año

$$AT = F \times ARS = 1,30 \times 1541 = 2003.3 \text{ m}^2 (0,20 \text{ hectáreas})$$

Para 4 años de vida útil

$$AT = F \times ARS = 1,30 \times 2381 = 3095.3 \text{ m}^2 (0,30 \text{ hectáreas})$$

obteniendo los cálculos matemáticos como un área de 2003.3 m² (0,20 Hectáreas) para el primer año y 2381 m² (0.30 Hectáreas) para un periodo de vida útil de 10 años obtenida en base a la población, generación y volumen de residuos diaria y anual inicial proyectada progresivamente hasta el décimo año calculado mediante el software Matlab R2014a .

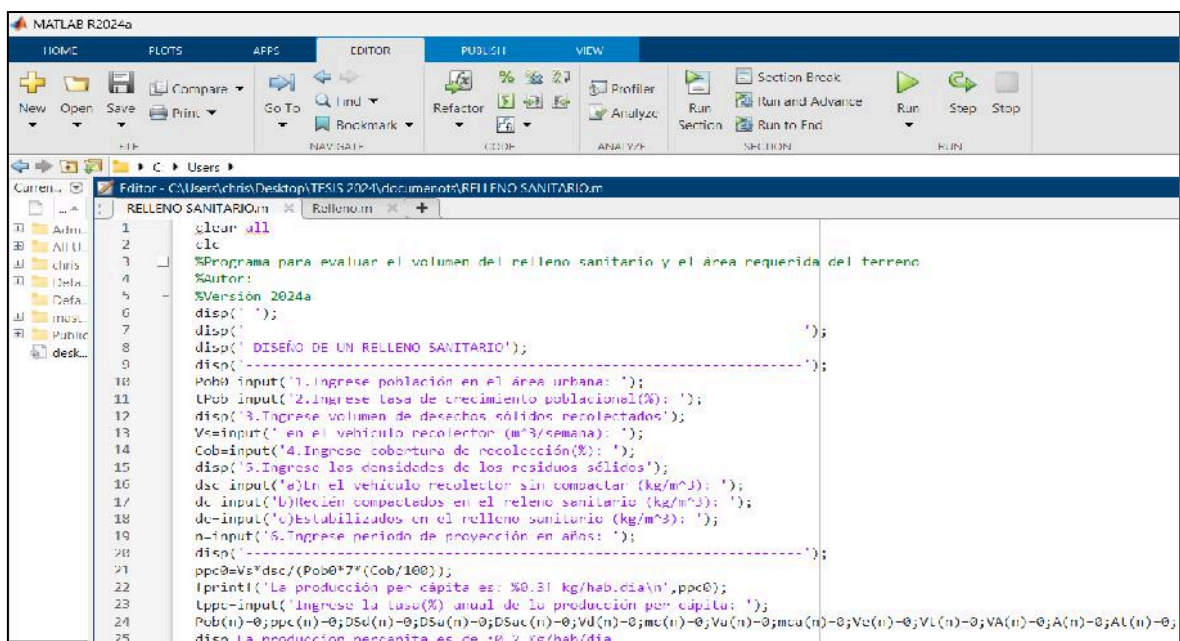
- **Modelo de las ecuaciones matemáticas a través de una hoja cálculo (Excel) del diseño de un relleno sanitario.**

	A	B	C	D	E	F	G
1	Población en el área urbana					30000	habitantes
2	Tasa de crecimiento de la población					2.60%	
3	Volumen de desechos sólidos recolectados						
4	en el vehículo recolector					252	m ³ /semana
5	Cobertura del servicio de recolección de residuos sólidos					90%	
6	Densidad de los residuos sólidos						
7	En el vehículo recolector (sin compactación)					300	kg/m ³
8	Recién compactados en el relleno sanitario manual					450	kg/m ³
9	Estabilizados en el relleno sanitario manual					600	kg/m ³
10							
11	Aumento ppc					1.00%	
12							
13	(20%-25%)			Material de cobertura		20.00%	
14							
15	(20%-40%)			Factor área		30.00%	
16							
17	Profundidad					6	m
18							

Figura 04: Guía para el cálculo del volumen de un relleno

En la figura 04 se aprecian los cálculos realizados empleando Excel para modelar las ecuaciones matemáticas antes definidas del modelo, dichos cálculos fueron adquiridos de la (Organización Panamericana de la Salud, 2007)

- **CODIFICACIÓN DEL ALGORITMO EN MATLAB R2014A DEL CÁLCULO DE UN RELLENO SANITARIO**



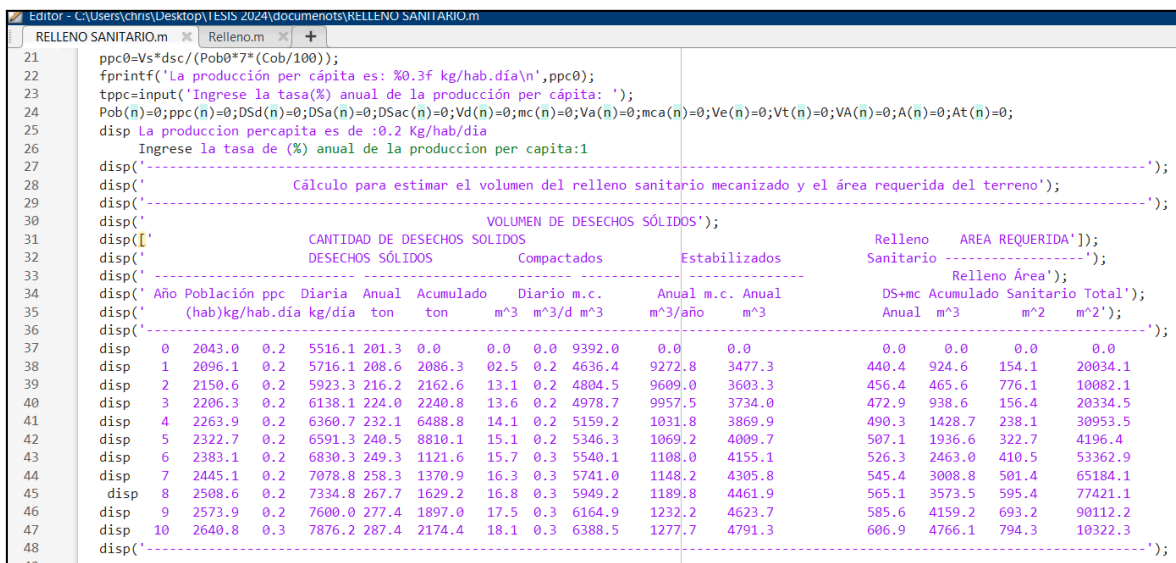
```

1 clear all
2 clc
3 %Programa para evaluar el volumen del relleno sanitario y el área requerida del terreno
4 %Autor:
5 %Versión 2024a
6 disp(' ');
7 disp(' ');
8 disp(' DISEÑO DE UN RELLENO SANITARIO');
9 disp('-----');
10 Pop0=input('1.Ingrese población en el área urbana: ');
11 LPop=input('2.Ingrese tasa de crecimiento poblacional(%): ');
12 DSc=input('3.Ingrese volumen de desechos sólidos recolectados: ');
13 Vv=input(' en el vehículo recolector (m³/semana): ');
14 Cob=input('4.Ingrese cobertura de recolección(%): ');
15 disp('5.Ingrese las densidades de los residuos sólidos');
16 dsc=input('a)En el vehículo recolector sin compactar (kg/m³): ');
17 dc=input('b)Recién compactados en el relleno sanitario (kg/m³): ');
18 de=input('c)Estabilizados en el relleno sanitario (kg/m³): ');
19 n=input('6.Ingrese periodo de proyección en años: ');
20 disp('-----');
21 ppc0=Vv*dsc/(Pop0*7*(Cob/100));
22 fprintf('La producción per cápita es: %0.3f kg/hab.día\n',ppc0);
23 Lppc=input('Ingrese la tasa(% anual de la producción per cápita: ');
24 Pop(n)=0;ppc(n)=0;DSu(n)=0;DSuc(n)=0;Vd(n)=0;mc(n)=0;Vu(n)=0;mcu(n)=0;Vc(n)=0;VL(n)=0;VA(n)=0;A(n)=0;AL(n)=0;
25 disp('La producción percapita es de 0.2 kg/hab/día
  
```

Figura 05: Codificación del algoritmo en Matlab R2014A del cálculo de un relleno sanitario

En la Figura 05 se muestran las instrucciones en MATLAB para ingresar las variables necesarias y realizar el cálculo iterativo de la proyección de la población, la producción per cápita, la cantidad y volumen de los desechos sólidos, el material de cobertura, el volumen del relleno sanitario y el área requerida a lo largo de la vida útil teórica del relleno. Además, se incluyen los cálculos anuales y acumulativos de estos datos, así como la generación del informe correspondiente.

- **USO DEL SOFTWARE MATLAB R2014A PARA EL TRABAJO DE CÁLCULO DE UN RELLENO SANITARIO**



```

21 ppc0=Vs*dsc/(Pob0*7*(Cob/100));
22 fprintf('La producción per cápita es: %0.3f kg/hab.día\n',ppc0);
23 tppc=input('Ingrese la tasa(%) anual de la producción per cápita: ');
24 Pob(n)=0;ppc(n)=0;DSd(n)=0;DSa(n)=0;DSac(n)=0;Vd(n)=0;mc(n)=0;Va(n)=0;mca(n)=0;Ve(n)=0;Vt(n)=0;VA(n)=0;A(n)=0;At(n)=0;
25 disp('La producción percapita es de :0.2 Kg/hab/día
26 Ingrese la tasa de (%) anual de la producción per capita:1
27 disp('-----');
28 disp('          Cálculo para estimar el volumen del relleno sanitario mecanizado y el área requerida del terreno');
29 disp('-----');
30 disp('          VOLUMEN DE DESECHOS SÓLIDOS');
31 disp('          CANTIDAD DE DESECHOS SÓLIDOS          Relleno  AREA REQUERIDA');
32 disp('          DESECHOS SÓLIDOS          Compactados          Estabilizados          Sanitario  -----');
33 disp('-----');
34 disp('          Año Población ppc Diaria Anual Acumulado Diario m.c. Anual m.c. Anual DS+mc Acumulado Sanitario Total');
35 disp('          (hab)kg/hab.día kg/día ton ton m^3 m^3/d m^3 m^3/año m^3 Anual m^3 m^2 m^2');
36 disp('-----');
37 disp 0 2043.0 0.2 5516.1 201.3 0.0 0.0 0.0 9392.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
38 disp 1 2096.1 0.2 5716.1 208.6 2086.3 02.5 0.2 4636.4 9272.8 3477.3 440.4 924.6 154.1 20034.1
39 disp 2 2150.6 0.2 5923.3 216.2 2162.6 13.1 0.2 4804.5 9609.0 3603.3 456.4 465.6 776.1 10082.1
40 disp 3 2206.3 0.2 6138.1 224.0 2240.8 13.6 0.2 4978.7 9957.5 3734.0 472.9 938.6 156.4 20334.5
41 disp 4 2263.9 0.2 6360.7 232.1 6488.8 14.1 0.2 5159.2 1031.8 3869.9 490.3 1428.7 238.1 30953.5
42 disp 5 2322.7 0.2 6591.3 240.5 8810.1 15.1 0.2 5346.3 1069.2 4009.7 507.1 1936.6 322.7 4196.4
43 disp 6 2383.1 0.2 6830.3 249.3 1121.6 15.7 0.3 5540.1 1108.0 4155.1 526.3 2463.0 410.5 53362.9
44 disp 7 2445.1 0.2 7078.8 258.3 1370.9 16.3 0.3 5741.0 1148.2 4305.8 545.4 3008.8 501.4 65184.1
45 disp 8 2508.6 0.2 7334.8 267.7 1629.2 16.8 0.3 5949.2 1189.8 4461.9 565.1 3573.5 595.4 77421.1
46 disp 9 2573.9 0.2 7600.0 277.4 1897.0 17.5 0.3 6164.9 1232.2 4623.7 585.6 4159.2 693.2 90112.2
47 disp 10 2640.8 0.3 7876.2 287.4 2174.4 18.1 0.3 6388.5 1277.7 4791.3 606.9 4766.1 794.3 10322.3
48 disp('-----');

```

Figura 06: Software Matlab r2014a para el trabajo de cálculo de un relleno sanitario

En la Figura 06 se presentan los resultados obtenidos mediante el software MATLAB, que realizó el cálculo de la producción per cápita para el primer año, la cual fue de 0,27 kg/hab.día. Posteriormente, se ingresó la tasa de crecimiento anual de 0,200 kg/hab.día para la producción per cápita, se presionó Enter y se mostraron los resultados, coincidiendo con los cálculos realizados en la hoja de cálculo. Finalmente, se muestra el cálculo realizado por el software para el relleno sanitario, que resultó en un área de 10,322.3 m² (equivalente a 1,03 hectáreas).

- **Propuesta de Relleno Sanitario para el Distrito de Tiquillaca**

La gestión de los residuos sólidos es un desafío importante en el distrito de Tiquillaca, ubicado en la región de Puno. La creciente producción de residuos, junto con la falta de

infraestructura adecuada para su disposición, representa un riesgo para la salud pública y el medio ambiente. En este contexto, se propone la implementación de un relleno sanitario manual como solución técnica para la disposición final de los residuos generados en el distrito.

Cálculos y Resultados: La caracterización de los residuos sólidos en Tiquillaca reveló que cada persona genera, en promedio, 0.27 kg/hab/día. Además, se encontró que los residuos tienen una densidad promedio de 112.13 kg/m³. Con base en estos resultados, se calculó el área necesaria para el relleno sanitario, utilizando el software MATLAB. El resultado fue que el relleno sanitario requerirá un área de 1.03 hectáreas, que será suficiente para manejar los residuos durante 10 años.

Ubicación y Diseño del Relleno Sanitario: El relleno sanitario se ubicará en un terreno adecuado dentro del distrito de Tiquillaca, el cual presenta una topografía plana, ideal para la construcción. Este relleno será de tipo manual, dado que el volumen de residuos generado en el distrito permite implementar este tipo de diseño, que no requiere grandes maquinarias.

Composición de los Residuos: Esta investigación muestra que los residuos orgánicos son los más comunes, representando 30.3% del total de residuos generados. Otros materiales significativos incluyen las bolsas plásticas (11.5%) y el cartón (7.3%). Estos datos son útiles para planificar el manejo adecuado de cada tipo de residuo, priorizando la disposición de los orgánicos y el reciclaje de materiales como el plástico y el cartón.

Impacto Ambiental y Social: El relleno sanitario propuesto tendrá varios beneficios para la comunidad y el medio ambiente:

1. Mejorará la gestión de residuos: Evitará la acumulación de desechos en áreas no controladas y reducirá los riesgos de enfermedades.
2. Protegerá el medio ambiente: Controlará los lixiviados y gases que generan los residuos, evitando la contaminación del suelo y el agua.
3. Generará empleo local: La construcción y operación del relleno sanitario creará puestos de trabajo para los habitantes del distrito.

Costo y Viabilidad: El costo estimado para la construcción del relleno sanitario incluye la adquisición del terreno, la construcción de las celdas de disposición y la implementación de sistemas para el monitoreo ambiental. Se propondrá financiar el proyecto mediante fondos municipales y subvenciones para proyectos ambientales.

4.3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En esta investigación, la generación per cápita de residuos sólidos domiciliarios en el distrito de Tiquillaca fue de 0,27 kg/hab/día, lo que es inferior a las cifras obtenidas en otros estudios. Esquivel (2023) reporta un valor de 0,46 kg/hab/día en el distrito de San Pedro, lo que indica una mayor producción de residuos en esa zona. De manera parecido a los que obtuvo, Godoy (2020) y Gutierrez (2025) reportaron valores de 0,41 kg/hab/día y 0,43 kg/hab/día, respectivamente, lo que sugiere una generación de residuos relativamente alta en otros distritos cercanos. Por otro lado, Ruiz (2021) presentó el valor más alto, con 0,60 kg/hab/día en el distrito de Tintay, lo que podría estar relacionado con diferencias en el consumo y el estilo de vida de la población, así como con la estructura económica de la región.

En cuanto a la composición de los residuos, tu estudio muestra que los residuos orgánicos constituyen el 30,3% del total, lo que es consistente con los resultados obtenidos en otros estudios. Esquivel (2023) reporta que el 45,45% de los residuos sólidos domésticos en su estudio son orgánicos. Esta diferencia podría reflejar variaciones en el consumo de productos orgánicos entre los diferentes distritos. En cuanto a los residuos inorgánicos, Esquivel (2023) también destaca que el 54,55% de los residuos aprovechables son inorgánicos, lo cual se asemeja a la proporción de materiales reciclables que encontraste en tu estudio, donde el cartón y el plástico PET fueron los más destacados, representando 7,30% y 6,99% respectivamente.

Densidad de los residuos sólidos

La densidad de los residuos en tu estudio fue de 112,13 kg/m³, lo que es inferior a la reportada por Esquivel (2023), quien encontró una densidad de 206,6 kg/m³ para los residuos domésticos en el distrito de San Pedro. Esta diferencia podría explicarse por el

tipo de residuos predominantes en cada distrito. En tu caso, los residuos orgánicos podrían tener una densidad menor debido a su mayor contenido de humedad, mientras que en San Pedro podrían predominar residuos más densos, como el cartón y el plástico. Además, las características geográficas y climáticas de cada distrito pueden influir en la densidad de los residuos.

Humedad de los residuos

En cuanto a la humedad de los residuos, tu estudio encontró un valor de 74,8%, que es más alto que el 68,92% reportado por Ruiz (2021) en San Pedro. Esta diferencia puede estar relacionada con el tipo de residuos generados en cada distrito, especialmente con la mayor proporción de residuos orgánicos en tu investigación, los cuales suelen tener un mayor contenido de humedad. Además, las diferencias en el clima entre los distritos podrían afectar la cantidad de humedad en los residuos.

Área requerida para el relleno sanitario

Respecto al relleno sanitario, los cálculos realizados en tu tesis indicaron que el área requerida sería de 10,322.3 m² (1,03 hectáreas). Este valor es considerablemente menor en comparación con los 2,24 hectáreas calculados por Gutierrez (2025) para el distrito de Atuncolla. Las diferencias en el área necesaria para el relleno sanitario podrían deberse a las variaciones en la generación per cápita, la densidad de los residuos y la proporción de humedad en cada distrito. Ruiz (2021) y Moreno (2020) también calcularon áreas mayores para el relleno sanitario, lo que refleja un enfoque más detallado en el diseño de estos sistemas, considerando la cantidad de residuos generados, su composición y la vida útil proyectada.

4.4. VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS

Contrastar la hipótesis nula con las hipótesis alternativas, que se consideran la hipótesis nula (H₀) y la hipótesis alternativa (H_a) que deben probarse; Estas hipótesis fueron elegidas para confirmar la validez o falsedad de las hipótesis que se desarrollaron de acuerdo con los hallazgos de la investigación.

- **HIPÓTESIS ESPECÍFICA 1.**

HIPÓTESIS ALTERNA (Ha) La caracterización de los residuos sólidos domiciliarios generados en el distrito de Tiquillaca permite realizar un modelado ambiental adecuado de un relleno sanitario manual mediante cálculos desarrollados en el software MATLAB, 2025.

HIPÓTESIS NULA (H0) La caracterización de los residuos sólidos domiciliarios generados en el distrito de Tiquillaca no permite realizar un modelado ambiental adecuado de un relleno sanitario manual mediante cálculos desarrollados en el software MATLAB, 2025.

- Generación per cápita de residuos: Los cálculos realizados en tu estudio indican una generación per cápita de residuos de 0,27 kg/hab/día, lo que es un dato fundamental para realizar un modelado de la cantidad de residuos generados. (Anexo 06)
- Composición de los residuos: La caracterización de los residuos, como la composición física y la humedad, es esencial para el modelado de un relleno sanitario, ya que estos factores afectan la compactación, el volumen y la descomposición de los residuos. Tu estudio proporciona una composición detallada, con un alto porcentaje de residuos orgánicos (30,3%) y una humedad del 74,8%, lo que es relevante para el modelo de relleno sanitario.
- Cálculos del modelo en MATLAB: El uso del software MATLAB para calcular el área necesaria para el relleno sanitario fue realizado con los datos obtenidos en la caracterización de los residuos, lo que muestra que los cálculos basados en estos resultados fueron adecuados. El área resultante de 10,322.3 m² (1,03 hectáreas) para el relleno sanitario está directamente relacionada con los datos obtenidos, lo que respalda la hipótesis alterna.

Por lo tanto: Se acepta la hipótesis alterna (Ha) y se rechaza la hipótesis nula (H0)

- **HIPÓTESIS ESPECÍFICA 2.**

HIPÓTESIS ALTERNA (Ha) La caracterización de los residuos sólidos domiciliarios generados en el distrito de Tiquillaca ofrece una base fundamental para el modelamiento de un relleno sanitario para el distrito de Tiquillaca, 2025

HIPÓTESIS NULA (H0) La caracterización de los residuos sólidos domiciliarios generados en el distrito de Tiquillaca no ofrece una base fundamental para el modelamiento de un relleno sanitario para el distrito de Tiquillaca, 2025

Los datos de generación per cápita (0,27 kg/hab/día) son cruciales para calcular la cantidad de residuos a gestionar, lo cual es un dato clave para dimensionar el relleno sanitario.

La composición de los residuos proporciona información esencial sobre los materiales a gestionar, influyendo en el diseño y en la eficiencia del relleno sanitario. La proporción de residuos orgánicos y la humedad son factores determinantes en su descomposición y volumen.

Los cálculos realizados en MATLAB demuestran que los datos obtenidos en la caracterización permiten dimensionar adecuadamente el área necesaria para el relleno sanitario, validando que la caracterización es fundamental.

Por lo tanto: Se acepta la hipótesis alterna (Ha) y se rechaza la hipótesis nula (H0)

- **HIPÓTESIS ESPECÍFICA 3.**

HIPÓTESIS ALTERNA (Ha) La herramienta MATLAB permite realizar un cálculo ambiental eficiente de un relleno sanitario manual para el distrito de Tiquillaca , 2025

HIPÓTESIS NULA (H0) La herramienta MATLAB permite realizar un cálculo ambiental eficiente de un relleno sanitario manual para el distrito de Tiquillaca , 2025

- Generación per cápita de residuos: El valor de 0,27 kg/hab/día de residuos sólidos domiciliarios obtenido en tu estudio es un dato clave para calcular la cantidad de residuos que se deben gestionar en un relleno sanitario. Este dato es esencial para dimensionar el diseño y capacidad del relleno sanitario para el distrito.
- Composición y tipo de residuos: Los datos sobre la composición de los residuos en Tiquillaca, como los residuos orgánicos (30,3%) y los residuos inorgánicos (plástico, cartón, etc.), proporcionan información crucial sobre cómo se deben gestionar y tratar estos materiales dentro de un relleno sanitario. Los residuos orgánicos, por ejemplo,

requieren una atención especial debido a su biodegradabilidad y su impacto en el proceso de descomposición dentro del relleno.

- Densidad y humedad de los residuos: La densidad y la humedad de los residuos, con un 74,8% de humedad, son factores importantes a considerar para el modelado de un relleno sanitario. La alta humedad de los residuos puede afectar el volumen de residuos que deben ser gestionados y cómo se compactan dentro del relleno sanitario. Esto da soporte a la hipótesis de que la caracterización de los residuos es fundamental para crear un modelo adecuado.
- Cálculos del modelo en MATLAB: El uso de MATLAB para realizar los cálculos del área requerida para el relleno sanitario en función de los datos obtenidos es una evidencia clara de que la caracterización de los residuos proporciona una base sólida para el modelamiento del relleno sanitario. El área calculada de 10,322.3 m² (1,03 hectáreas) se deriva directamente de los datos sobre la cantidad de residuos, la densidad y la humedad, lo que demuestra que los resultados obtenidos en la caracterización permiten hacer un diseño adecuado del relleno.

Por lo tanto: Se acepta la hipótesis alterna (H_a) y se rechaza la hipótesis nula (H₀)

CONCLUSIONES

PRIMERA: La caracterización de los residuos sólidos generados en el distrito de Tiquillaca permitió obtener la información necesaria para realizar los cálculos del modelado ambiental de un relleno sanitario manual. Utilizando el software MATLAB, se determinó un área requerida de 1,03 hectáreas para una vida útil proyectada de 10 años.

SEGUNDA: Como resultado de la caracterización de los residuos sólidos, se obtuvo una generación per cápita (GPC) de residuos domiciliarios de 0,27 kg/hab/día, con una densidad promedio de 112,13 kg/m³. En cuanto a la composición física, los residuos orgánicos representaron 259,2 kg (30,3%), el cartón 62,5 kg (7,3%), el plástico PET 59,9 kg (7%), las bolsas plásticas 98,8 kg (11,5%), el cartón multilaminado (Tetra Pak) 31,6 kg (3,7%), y otros residuos como envases de líquidos (jugos, leche), materiales metálicos, caucho, telas y pilas sumaron un 11,99% del total.

TERCERA: Mediante la aplicación del software MATLAB, se realizaron los cálculos correspondientes para el diseño del relleno sanitario ambiental, obteniéndose un área total de 10 322,3 m², equivalente a 1,03 hectáreas, adecuada para un periodo de operación de 10 años.

RECOMENDACIONES

PRIMERA: A la Municipalidad Distrital de Tiquillaca implementar campañas educativas y de concienciación ambiental. Estas campañas deben estar orientadas a sensibilizar a la población sobre la importancia de reducir la generación de residuos y fomentar su adecuada clasificación, con el fin de promover un manejo más eficiente y sostenible de los residuos sólidos.

SEGUNDA: A la Municipalidad Distrital de Tiquillaca fortalecer la gestión de residuos reciclables mediante campañas específicas. La significativa presencia de materiales reciclables, como cartón y plástico PET, evidencia la necesidad de crear o mejorar los programas de reciclaje en el distrito, incentivando la participación ciudadana y la valorización de estos residuos.

TERCERA: A la Municipalidad Distrital de Tiquillaca optimizar el uso del espacio destinado al relleno sanitario. Con una superficie proyectada de 10322,3 m² (1,03 hectáreas), es fundamental implementar sistemas de compactación de residuos que permitan aumentar la capacidad del relleno y extender su vida útil, contribuyendo así a una gestión ambiental más eficiente.

BIBLIOGRAFÍA

- Alban, G. P. G., Arguello, A. E. V., & Molina, N. E. C. (2020). Metodologías de investigación educativa (descriptivas, experimentales, participativas, y de investigación-acción). *RECIMUNDO*, 4(3), Article 3. [https://doi.org/10.26820/recimundo/4.\(3\).julio.2020.163-173](https://doi.org/10.26820/recimundo/4.(3).julio.2020.163-173)
- Arhuata Peraza, H. (2024). Propuesta de diseño de un relleno sanitario para la disposición final de residuos sólidos del distrito de Acora, Puno – 2023. *Universidad Privada San Carlos*. <http://repositorio.upsc.edu.pe:8080/handle/UPSC/771>
- Banco mundial. (2018). *Informe del Banco Mundial: Los desechos a nivel mundial crecerán un 70 % para 2050, a menos que se adopten medidas urgentes*. World Bank. <https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2018/09/20/global-waste-to-grow-by-70-percent-by-2050-unless-urgent-action-is-taken-world-bank-report>
- Cari Soncco, L. N. (2023). Caracterización de los residuos sólidos municipales del área urbana de la ciudad de Lampa – Puno – 2023. *Universidad Privada San Carlos*. <http://repositorio.upsc.edu.pe:8080/handle/UPSC/586>
- Esquivel Murillo, L. C. (2023). Estudio de caracterización de residuos sólidos Municipales del Distrito de San Pedro Provincia de Canchis-Cusco 2022. *Universidad Privada San Carlos*. <http://repositorio.upsc.edu.pe:8080/handle/UPSC/489>
- Godoy Rodriguez, C. W. (2020). Caracterización y manejo de residuos sólidos domiciliarios en la Municipalidad distrital de Paucarcolla, Puno 2019. *Universidad Privada San Carlos*. <http://repositorio.upsc.edu.pe:8080/handle/UPSC S.A.C./231>
- Gutierrez Ccapa, M. (2025). Caracterización de residuos sólidos domiciliarios y modelado ambiental de relleno sanitario manual utilizando MATLAB para el Distrito de Atuncolla. *Universidad Privada San Carlos*. <http://repositorio.upsc.edu.pe:8080/handle/UPSC/1316>
- Herrera, J, Rojas, J, & Anchia, D. (2016). *TASAS DE GENERACIÓN Y*

CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS ORDINARIOS EN CUATRO MUNICIPIOS DEL ÁREA METROPOLITANA COSTA RICA.

<https://www.redalyc.org/journal/4517/451748499010/html/>

Jaramillo, J. (2003). Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente,

Disponible en:

<https://estrucplan.com.ar/efectos-de-la-inadecuada-gestion-de-residuos-solidos>

Martinez Hanco, F. (2023). Propuesta de plan manejo de residuos sólidos domiciliarios en la Municipalidad Distrital de Plateria – Puno, 2023. *Universidad Privada San Carlos*. <http://repositorio.upsc.edu.pe:8080/handle/UPSC/692>

MINAM. (2025). *Nueva ley y reglamento de residuos sólidos*. Dirección General de Gestión de Residuos Sólidos.

<https://www.minam.gob.pe/gestion-de-residuos-solidos/nueva-ley-de-residuos-solidos/>

Ministerio del Ambiente. (2016). *Formulario del Sistema de Información para la Gestión de Residuos Sólidos, SIGERSOL gestión 2015 del distrito de Laredo, provincia de Trujillo, departamento La Libertad. Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA)*.

https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/sial-sialtrujillo/archivos/public/docs/sigersol_2015_laredo.pdf

Ministerio del Ambiente. (2023). *Composición de residuos sólidos domiciliarios | Plataforma Nacional de Datos Abiertos*.

<https://datosabiertos.gob.pe/dataset/composici%C3%B3n-de-residuos-s%C3%B3lidos-domiciliarios>

Ministerio del Ambiente. (2025). *Peruanos generamos 21 mil toneladas diarias de basura*. <https://elperuano.pe/noticia/120825-peruanos-generamos-21-mil-toneladas-diarias-de-basura>

Moreno Eustaquio, W. (2020). *Modelamiento y simulación del diseño de un relleno*

sanitario

Semi-Mecanizado.

<https://repositorio.uap.edu.pe/xmlui/handle/20.500.12990/1721>

Paredes Granda, J. N., & Vélez Reyes, E. M. (2022). *Caracterización de los residuos sólidos del mercado Municipal Chiriyacu de Quito para identificar alternativas de aprovechamiento y valorización.*

<https://www.dspace.uce.edu.ec/entities/publication/www.dspace.uce.edu.ec>

Pozo Cruz, B. D., & Rengifo Garcia, M. A. (2023). *Manejo de residuos sólidos mediante la implementación de un relleno sanitario y la utilización de gestores de desechos en la cabecera cantonal de Santa Elena, Ecuador* [bachelorThesis, La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena, 2023.].

<https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/9217>

Romero Arévalo, P. D., & Vásquez Ochoa, J. L. (2022). *Caracterización de residuos sólidos domiciliarios y elaboración de una propuesta para el manejo adecuado de los mismos en el casco urbano del cantón Zaruma, provincia de El Oro* [bachelorThesis]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/21836>

Ruiz Bravo, S. (2021). *Diseño de un relleno sanitario manual para la gestión integral de residuos sólidos, distrito Tintay, Apurímac, 2021.*

The MathWorks, Inc. (2022). *MATLAB - El lenguaje del cálculo técnico.* <https://la.mathworks.com/products/matlab.html>

Vázquez. (2019). *Diseño de Investigación.*

Villanueva Puelles, J. (2022). *Diseño del relleno sanitario para el tratamiento de residuos sólidos en el distrito de Chancay Baños, provincia de Santa Cruz, departamento de Cajamarca, 2020.* <http://tesis.usat.edu.pe/handle/20.500.12423/6393>

Valqui, L. (2020). *Diseño de un sistema de recogida puerta a puerta en establecimientos productores de biorresiduos de Castellón mediante Sistemas de Información Geográfica.* <https://repositori.uji.es/xmlui/handle/10234/192248>

ANEXOS

Anexo 01: Matriz de consistencia

CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES Y PROPUESTA DE RELLENO SANITARIO, REALIZADOS EN MATLAB PARA EL DISTRITO DE TIQUILLACA, 2025

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLE	INDICADOR	METODOLOGÍA
<p>GENERAL ¿De qué manera la caracterización de los residuos sólidos domiciliarios generados en el distrito de Tiquillaca permite realizar un modelado ambiental de un relleno sanitario manual, utilizando cálculos desarrollados en el software MATLAB, 2025?</p>	<p>GENERAL Caracterizar los residuos sólidos generados en el distrito de Tiquillaca con el fin de realizar el cálculo del modelado ambiental de un relleno sanitario manual, utilizando el software MATLAB, 2025.</p>	<p>GENERAL La caracterización de los residuos sólidos domiciliarios generados en el distrito de Tiquillaca permite realizar un modelado ambiental adecuado de un relleno sanitario manual mediante cálculos desarrollados en el software MATLAB, 2025.</p>	<p>Variable Dependiente: Caracterización de residuos</p>	<p>Generación per cápita Residuo Municipal Composición física Humedad Densidad</p>	<p>Tipo . Cuantitativo No experimental DISEÑO Cuasi experimental</p>
<p>Específicos ¿Cómo es la caracterización de los residuos sólidos municipales en el distrito de Tiquillaca? ¿Cómo será el programa codificado en MATLAB para realizar un cálculo de un relleno sanitario manual destinado al distrito de Tiquillaca, 2025?</p>	<p>Específicos Analizar el estudio de caracterización de los residuos sólidos municipales que se generan en el distrito de Tiquillaca. Desarrollar un programa codificado en MATLAB para realizar un cálculo de un relleno sanitario manual destinado al distrito de Tiquillaca, 2025</p>	<p>Específicos La caracterización de los residuos sólidos domiciliarios generados en el distrito de Tiquillaca ofrece una base fundamental para el modelamiento de un relleno sanitario para el distrito de Tiquillaca, 2025 La herramienta MATLAB permite realizar un cálculo ambiental eficiente de un relleno sanitario manual para el distrito de Tiquillaca , 2025</p>	<p>Variable Independiente : Modelamiento de relleno sanitario manual</p>	<p>Volumen de material de cobertura Volumen del relleno sanitario Area del relleno sanitario</p>	<p>POBLACIÓN Distrito de Tiquillaca. MUESTRA Muestreo no probabilístico MÉTODO Estadística descriptiva El método que se aplicará para esta investigación es la Guía metodológica para la caracterización de residuos y sólidos y diseño (MINAM,2019).</p>

Anexo 02: Código para el cálculo de un relleno sanitario - adquirido desde fundamentos de programación en Matlab.

```
classdef RellenoSanitario
    properties
        CapacidadMaxima % Capacidad máxima del relleno en toneladas
        CapacidadActual % Capacidad actual del relleno en toneladas
    end
    methods
        function obj = RellenoSanitario(capacidad)
            obj.CapacidadMaxima = capacidad;
            obj.CapacidadActual = 0;
        end

        function obj = agregarResiduo(obj, cantidad)
            if (obj.CapacidadActual + cantidad) <= obj.CapacidadMaxima
                obj.CapacidadActual = obj.CapacidadActual + cantidad;
                disp(['Se agregaron ', num2str(cantidad), ' toneladas de residuo.']);
            else
                disp('No hay suficiente espacio en el relleno sanitario para esta cantidad de residuos.');
```

```
            end
        end

        function capacidadRestante(obj)
            restante = obj.CapacidadMaxima - obj.CapacidadActual;
            disp(['Capacidad restante: ', num2str(restante), ' toneladas.']);
        end
    end
end
```

% Uso del código:

```
relleno = RellenoSanitario(1000); % Creamos un relleno sanitario con capacidad de 1000 toneladas
relleno = relleno.agregarResiduo(500); % Agregamos 500 toneladas de residuo
relleno.capacidadRestante(); % Mostramos la capacidad restante
```

Anexo 03: Panel fotográfico



Figura 07: Empadronamiento a viviendas participantes de la caracterización de residuo sólidos en el distrito de Tiquillaca, 2025



Figura 08: Empadronamiento a viviendas participantes de la caracterización de residuo sólidos en el distrito de Tiquillaca, 2025



Figura 09: Recolección de residuos sólidos en el distrito de Tiquillaca, 2025



Figura 10: Pesaje de muestras en el distrito de Tiquillaca, 2025



Figura 11: llenado de residuos al cilindro para determinar la densidad en el distrito de Tiquillaca, 2025.



Figura 12: Vaciado de residuos para determinar la composición física de los residuos sólidos en el distrito de Tiquillaca, 2025.



Figura 13: Botadero del distrito de Tiquillaca, 2025.



Figura 14: Propuesta de lugar para el relleno sanitario del distrito de Tiquillaca, 2025

Anexo 04: Cálculo de relleno sanitario del distrito de Tiquillaca 2025

Año	Población (hab)	PPC Kg/hab/día	CANTIDAD DE RESIDUOS SÓLIDOS			VOLUMEN DE DESECHOS SÓLIDOS										ÁREA REQUERIDA	
			Diaría kg/día	Anual Ton	Acumulado Ton/año	Compactos			Estabilizados anual			Relleno sanitario				Relleno sanitario m ²	A total m ²
						mc m ³ /día	Anual m ³	m ³ /año	Anual m ³	m ³ /año	m ³	(DS+m.c.) Anual	Acumulado m ³				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14				
0	2043	0.27	551.610	201.338	0.000	1.226	0	9392.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
1	2096.118	0.27	571.611	208.638	208.638	1.270	0.254	463.640	92.728	347.730	440.458	9.246	1.541	2.003	1.541	2.003	
2	2150.617	0.28	592.338	216.203	424.842	1.316	0.263	480.452	96.090	360.339	456.429	465.675	77.613	100.896	77.613	100.896	
3	2206.533	0.28	613.816	224.043	648.884	1.364	0.273	497.873	99.575	373.405	472.979	938.655	156.442	203.375	156.442	203.375	
4	2263.903	0.28	636.073	232.167	881.051	1.413	0.283	515.926	103.185	386.945	490.130	1428.785	238.131	309.570	238.131	309.570	
5	2322.764	0.28	659.137	240.585	1121.636	1.465	0.293	534.633	106.927	400.975	507.902	1936.686	322.781	419.615	322.781	419.615	
6	2383.156	0.29	683.037	249.309	1370.945	1.518	0.304	554.019	110.804	415.514	526.318	2463.005	410.501	533.651	410.501	533.651	
7	2445.118	0.29	707.804	258.349	1629.293	1.573	0.315	574.108	114.822	430.581	545.403	3008.407	501.401	651.822	501.401	651.822	
8	2508.691	0.29	733.469	267.716	1897.010	1.630	0.326	594.925	118.985	446.194	565.179	3573.586	595.598	774.277	595.598	774.277	
9	2573.917	0.30	760.065	277.424	2174.434	1.689	0.338	616.497	123.299	462.373	585.672	4159.259	693.210	901.173	693.210	901.173	
10	2640.839	0.30	787.625	287.483	2461.917	1.750	0.350	638.851	127.770	479.139	606.909	4766.167	794.361	1032.670	794.361	1032.670	

Anexo 05: Porcentaje de Humedad de residuos sólidos en el distrito de Tiquillaca, 2025.



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
LABORATORIO DE PASTOS Y FORRAJES



RESULTADOS DE ANÁLISIS

ASUNTO : Humedad y Materia Seca (residuos mezclados)
 INTERESADO : Elver Hipolito Condori Condori
 PROCEDENCIA : Distrito de Tiquillaca
 MOTIVO : Ensayo Físico de Residuos Sólidos Urban (Tesis)
 MUESTREO : 25 de julio del 2025
 RECEPCIÓN : 26 de julio del 2025

Clave Campo	Humedad %	Materia Seca %
M-1	74.8	25.2

Puno C.U., 26 de julio del 2025



[Signature]
 Dr. Pablo A. Beltrán Barriga
 JEFE DEL LAB. PASTOS Y FORRAJES
 EPIA-FCA-UNA-PUNO

[Signature]
 Marcelino Ticona Cruz
 ANALISTA DE LABORATORIO
 F.S.A. UNA - PUNO

Anexo 06: Generación per cápita de los residuos sólidos en el distrito de Tiquillaca, 2025.

N° vivienda	Código	N° habit antes								Generación per cápita Kg/person a/día
			Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	
			Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	
1	V-A-01	2	1.75	1.12	1.78	0.93	1.06	1.01	1.68	0.67
2	V-A-02	5	3.9	5	1.72	1.66	2.25	2.8	2.9	0.58
3	V-A-03	3	1.6	1.21	1.5	1.92	1.4	1.31	2.01	0.52
4	V-A-04	4	4.07	1.7	2.04	3.46	2.6	4.06	3.15	0.75
5	V-A-05	2	1.42	1.55	0.26	0.49	0.58	0.7	0.8	0.41
6	V-A-06	3	1.74	1.07	0.88	1.25	1.37	1.8	2.46	0.50
7	V-A-07	3	1.03	1.24	1.7	1.36	2.88	1.4	1.06	0.51
8	V-A-08	4	1.8	0.94	1.25	2.15	0.95	1.4	1.88	0.37
9	V-A-09	4	1.53	1.24	0.74	1.03	1.35	1.24	2.7	0.35
10	V-A-10	5	1.2	2.65	2.6	4.04	3.01	3.39	3.8	0.59
11	V-A-11	5	1.8	1.58	1.85	2.7	0.99	1.21	1.48	0.33
12	V-A-12	4	2.45	4.06	3.46	4.55	4.16	3.8	2.05	0.88
13	V-A-13	5	1.78	2.95	3.03	2.3	2.12	1.62	1.76	0.44
14	V-A-14	2	1.45	1.57	1.6	1.43	1.3	1.7	1.45	0.75
15	V-A-15	3	0.09	0.93	1.22	2.18	1.3	3.26	2.54	0.55
16	V-A-16	3	2.37	1.54	0.86	1.94	1.45	1.83	1.17	0.53
17	V-A-17	5	2.48	1.5	1.53	1.85	1.3	1.94	1.76	0.35
18	V-A-18	5	2.65	1.4	1.21	0.9	2.04	1.34	2.06	0.33
19	V-A-19	4	2.53	1.18	2.1	1.54	1.72	2.4	0.9	0.44
20	V-A-20	3	0.68	1.54	0.75	0.64	0.68	0.43	0.45	0.25
21	V-A-21	4	1.4	2.3	0.74	1.6	1.65	1.5	0.9	0.36
22	V-A-22	6	3.6	1.72	1.95	1.6	1.62	1.02	2.67	0.34
23	V-A-23	7	4.67	2.75	5.8	3.2	4.02	2.22	3.23	0.53
24	V-A-24	6	2.95	2.8	2.95	1.6	2.55	2.3	3.6	0.45
25	V-A-25	3	0.45	1	1.05	0.76	0.6	1.5	1.45	0.32
26	V-A-26	1	0.28	0.5	0.63	0.3	0.45	0.23	0.16	0.36
27	V-A-27	6	2.15	3.2	2.64	3.4	1.5	1.75	2.15	0.40
28	V-A-28	4	1.03	1.67	1.35	0.54	2.43	1.76	2.6	0.41
29	V-A-29	4	3.57	2.93	3.52	2.72	2.47	1.94	1.67	0.67
30	V-A-30	7	2.93	1.94	2.07	2.8	2.4	1.15	1.36	0.30
31	V-A-31	2	2.22	1.8	1.69	1.78	0.35	2.55	2.6	0.93
32	V-A-32	8	4.08	2.8	2.6	3.62	2.89	2.29	3.4	0.39
33	V-A-33	4	2.3	1.45	1.44	2.6	2.35	3.25	3.4	0.60
34	V-A-34	3	1.5	0.9	1.45	0.84	0.8	0.93	0.94	0.35
35	V-A-35	4	1.14	1.33	1.84	1.55	1.8	1.87	2.75	0.44
36	V-A-36	3	1.72	1.65	0.36	2.24	1.04	1.14	0.54	0.41

37	V-A-37	5	1.34	1.6	1.82	1.45	0.79	0.81	0.45	0.24
38	V-A-38	4	1.34	1.45	1.88	1.64	1.96	3.67	1.56	0.48
39	V-A-39	4	1.35	1.15	0.77	0.81	0.88	1.58	1.96	0.30
40	V-A-40	3	0.54	1.08	0.67	1.25	1.05	0.65	1.22	0.31
41	V-A-41	7	1.04	3.45	2.9	2.75	1.65	3.1	3.05	0.37
42	V-A-42	6	2.32	1.9	1.53	2.45	1.45	2.39	2.27	0.34
43	V-A-43	4	1.03	2.6	1.67	0.35	0.95	1.48	2.45	0.38
44	V-A-44	5	1.14	1.8	1.35	0.92	1.78	1.6	1.22	0.28
45	V-A-45	2	0.99	1.48	2.45	1.65	0.88	2.73	1.04	0.80
46	V-A-46	4	0.26	0.56	0.67	0.96	1.4	1.74	0.51	0.22
47	V-A-47	5	0.57	1.29	2.16	1.88	0.79	0.81	1.4	0.25
48	V-A-48	3	0.72	1.03	0.41	1.66	1.28	1.46	1.34	0.38
49	V-A-49	6	3.32	1.8	2.45	1.66	0.48	1.46	3.33	0.35
50	V-A-50	3	1.05	0.55	1.5	1.02	0.78	1.25	0.58	0.32
51	V-A-51	4	1.22	0.61	1.8	0.7	1.45	1.63	1.3	0.31
52	V-A-52	5	2.74	2.21	1.38	1.55	1.43	2.04	1.35	0.36
53	V-A-53	6	0.93	2.67	1.71	1.16	3.56	2.11	2.04	0.34
54	V-A-54	5	3.67	1.48	2.45	0.81	1.96	2.57	1.23	0.40
55	V-A-55	4	0.57	0.14	0.2	0.7	0.5	0.2	0.4	0.10
56	V-A-56	6	0.3	0.27	1.8	1.1	0.1	0.3	0.27	0.10
57	V-A-57	2	0.1	1.3	0.08	0.2	0.05	1.05	0.14	0.21
58	V-A-58	5	1.35	1.4	0.9	1.24	1.75	0.28	0.62	0.22
59	V-A-59	3	0.33	0.32	0.94	0.35	0.95	1.45	0.3	0.22
60	V-B-60	4	0.36	0.45	0.7	0.21	1.26	0.25	1.15	0.16
61	V-B-61	2	0.66	0.17	1.25	0.9	0.55	0.25	1.7	0.39
62	V-B-62	3	0.1	0.2	0.28	0.35	0.21	1.24	0.95	0.16
63	V-B-63	5	0.25	0.45	0.4	0.3	0.51	0.65	1.7	0.12
64	V-B-64	2	0.23	0.38	0.25	1	0.96	1.55	1.14	0.39
65	V-B-65	5	0.56	1.8	1.5	0.56	0.3	1.78	0.95	0.21
66	V-B-66	2	0.63	0.29	1.75	1.26	0.8	1.42	1.37	0.54
67	V-B-67	2	0.33	0.32	0.35	0.95	1.41	0.45	0.31	0.29
68	V-B-68	3	1.34	0.5	0.4	0.29	0.33	0.3	0.19	0.16
69	V-B-69	4	0.55	0.49	0.51	0.3	0.26	0.15	0.14	0.09
70	V-B-70	5	0.3	0.35	1.4	0.45	0.22	0.45	0.7	0.11
71	V-B-71	5	1.9	1.5	0.8	1.25	0.36	1.5	1.8	0.26
72	V-B-72	3	0.55	1	1.2	0.8	0.06	0.25	1.2	0.24
73	V-B-73	4	0.2	0.15	1.8	0.28	0.35	1.48	0.1	0.16
74	V-B-74	3	0.45	0.67	0.5	0.7	2	1.44	0.05	0.28
75	V-B-75	4	1.3	0.4	0.45	0.8	1.4	0.7	1.37	0.23
76	V-B-76	5	3.2	0.73	0.56	1	0.6	0.5	1.4	0.23
77	V-B-77	3	2.4	0.27	0.3	2.4	0.2	0.12	0.3	0.29
78	V-B-78	4	1.8	2.1	0.38	0.02	0.7	0.5	1.2	0.24
79	V-B-79	2	1.45	0.3	0.4	0.34	3	2.3	1.2	0.64
80	V-B-80	2	1.92	0.76	0.86	0.8	1.8	0.6	1.55	0.59
81	V-B-81	5	4.6	0.71	0.65	0.5	0.39	1.25	0.6	0.25



82	V-B-82	5	0.35	0.34	0.45	0.5	1.4	0.31	0.5	0.11
83	V-B-83	4	1.4	1.6	0.19	0.45	0.5	1.5	1	0.24
84	V-B-84	4	1.2	1.3	0.1	2	0.45	0.6	1.63	0.26
Generación per cápita										0.27