Universidad Católica de Santa María

Facultad de Ciencias Farmacéuticas, Bioquímicas y Biotecnológicas

Escuela Profesional de Ingeniería Biotecnológica

Evaluación de residuos agrícolas en la producción de biol y biogás en un sistema batch mediante la experimentación de sustratos combinados a partir de residuos agrícolas de alta disponibilidad en Majes, Caylloma, Arequipa

Tesis presentada por:

Rondon Nuñez, Mario Hermann

ORCID: 0009-0005-1773-243X

para optar el Título Profesional de Ingenierio Biotecnologo

Asesor (a):

Mgter. Tejada Meza, Kevin

ORCID: 0000-0002-9716-7821

Arequipa - Perú

2026

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INGENIERIA BIOTECNOLOGICA

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 23 de Marzo del 2026

Dictamen: 010264-C-EPIB-2026

Visto el borrador del expediente 010264, presentado por:

2018224841 - RONDON NUÑEZ MARIO HERMANN

Titulado:

EVALUACIÓN DE RESIDUOS AGRÍCOLAS EN LA PRODUCCIÓN DE BIOL Y BIOGÁS EN UN SISTEMA BATCH MEDIANTE LA EXPERIMENTACIÓN DE SUSTRATOS COMBINADOS A PARTIR DE RESIDUOS AGRÍCOLAS DE ALTA DISPONIBILIDAD EN MAJES, CAYLLOMA, AREQUIPA

Nuestro dictamen es:

APROBADO

Titulo Profesional/Titulo de Segunda Especialidad/Grado Académico a optar:

INGENIERO BIOTECNOLOGO

29520165 - TORRES VELA FERNANDO ANTERO
DICTAMINADOR

42098888 - CORDOVA BARRIOS CINTHIA CAROL
DICTAMINADOR

44810251 - TERAN HILARES RULY
DICTAMINADOR

Evaluación de residuos agrícolas en la producción de biol y biogás en un sistema batch mediante la experimentación de sustratos combinados a partir de residuos agrícolas de alta disponibilidad en Maje

INFORME DE ORIGINALIDAD

4%	4%	5%	4%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	www.coursehero.com Fuente de Internet	1%
2	repositorio.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	1%
3	es.scribd.com Fuente de Internet	1%
4	vdocuments.es Fuente de Internet	1%

Excluir citas	Apagado	Excluir coincidencias	< 1%
Excluir bibliografía	Apagado		

Dedicatoria

Dedico mi tesis a mi Madre y Padre que tuvieron la paciencia, amor y confianza en mí para que pudiera finalizar esta parte importante de mi vida. Ellos fueron los que me brindaron la fuerza y el empeño suficiente para alcanzar este logro

Gracias por todo lo que han hecho hasta ahora.

Agradecimientos

Agradezco, en primer lugar, a mis padres, por ser el apoyo fundamental de mi vida y carrera. Sin su incondicional apoyo, sus sacrificios y su fe constante en mí han sido el motor que impulsó cada paso de este logro.

En un sentido muy especial, a mi mascota, compañero silencioso de largas jornadas de estudio, cuya leal compañía fue un bálsamo de alegría y tranquilidad en los momentos más demandantes.

Agradezco a la Universidad Católica de Santa María por el soporte financiero a través de los Fondos Internos para la Investigación 2022-2 Tipo 2 (Resolución N°30488-R-2024), el cual fue pieza fundamental para el desarrollo de esta investigación sobre la producción de biol y biogás en Majes, Arequipa.

A todos, mi eterno agradecimiento.

RESUMEN

La gestión inadecuada de los residuos agrícolas en la provincia de Caylloma, en el valle de Majes, Arequipa, representa un problema ambiental significativo. Esta investigación evaluó la producción artesanal de biol (biofertilizante líquido) y biogás a partir de residuos de papa (*Solanum tuberosum*) y tomate (*Solanum lycopersicum*), utilizando biodigestores batch de bajo costo, con el fin de proponer una solución tecnológica accesible para los pequeños agricultores de la región.

Los resultados demostraron diferencias significativas en la producción de biogás según el sustrato. Los residuos de papa generaron un volumen significativamente mayor (3.2-3.8 litros en 5 días) superando a los de tomate (2.7-2.8 litros en 5 días) y el grupo control (estiércol vacuno y suero, 1.0-1.3 litros en 5 días). Esta superioridad se atribuye a la composición bioquímica de la papa, rica en almidón de fácil hidrólisis, que favorece una fermentación anaeróbica más eficiente. El escalamiento del proceso a reactores de 10 L demostró su factibilidad técnica, con una producción acumulada de 10.8 L de biogás, lo que representa un rendimiento de 1.08 $L_{biogás}/L_{útil}$.

La caracterización fisicoquímica del biol derivado de papa reveló un perfil alcalino (pH 9.63) con un alto contenido de fósforo (758,50 mg L^{-1}) y potasio (7957,50 mg L^{-1}), pero un bajo nivel de nitrógeno y materia orgánica, lo que lo categoriza como un biofertilizante de refuerzo potásico-fosfórico. Los bioensayos de germinación con semillas de quinua y tomate resultaron en un efecto bifásico dependiente de la dosis. La concentración óptima de biol fue del 3% (v/v), la cual promovió una germinación del 100% y un crecimiento radicular superior al control (agua potable), evidenciando un claro efecto bioestimulante. Por el contrario, concentraciones superiores al 10% inhibieron drásticamente la germinación y el desarrollo, probablemente debido a estrés osmótico y fitotoxicidad.

Se concluye que los residuos de papa son un sustrato óptimo para la coproducción de biogás y biol en sistemas batch de bajo costo. Esta tecnología no sólo valoriza los residuos, sino que genera energía renovable y un biofertilizante efectivo, promoviendo un modelo de economía circular aplicable al contexto agropecuario local.

Palabras clave: Digestión anaerobia, biol, biofertilizante.

ABSTRACT

Inadequate management of agricultural waste in the province of Caylloma, in the Majes Valley, Arequipa, represents a significant environmental problem. This research evaluated the artisanal production of biofertilizer (liquid biol) and biogas from potato (Solanum tuberosum) and tomato (Solanum lycopersicum) waste, using low-cost batch biodigesters, in order to propose an accessible technological solution for small-scale farmers in the region.

The results demonstrated significant differences in biogas production depending on the substrate. Potato waste generated a significantly larger volume (3.2–3.8 liters in 5 days), surpassing tomato waste (2.7–2.8 liters in 5 days) and the control group (cattle manure and whey, 1.0–1.3 liters in 5 days). This superiority is attributed to the biochemical composition of potatoes, which are rich in easily hydrolyzed starch, promoting more efficient anaerobic fermentation. Scaling up the process to 10 L reactors demonstrated its technical feasibility, with a cumulative biogas production of 10.8 L, representing a yield of 1.08 L biogas/L usable.

The physicochemical characterization of the potato-derived biofertilizer revealed an alkaline profile (pH 9.63) with a high content of phosphorus (758.50 mg L^{-1}) and potassium (7957.50 mg L^{-1}), but a low level of nitrogen and organic matter, categorizing it as a potassium-phosphorus fortifying biofertilizer. Germination bioassays with quinoa and tomato seeds resulted in a dose-dependent, biphasic effect. The optimal biofertilizer concentration was 3% (v/v), which promoted 100% germination and superior root growth compared to the control (potable water), demonstrating a clear biostimulant effect. Conversely, concentrations above 10% drastically inhibited germination and development, likely due to osmotic stress and phytotoxicity.

It is concluded that potato waste is an optimal substrate for the co-production of biogas and biofertilizer in low-cost batch systems. This technology not only valorizes waste but also generates renewable energy and an effective biofertilizer, promoting a circular economy model applicable to the local agricultural context.

Keywords: Anaerobic digestion, biol, biofertilizer.

Lista de abreviaturas

- ACV: Análisis de ciclo de vida
- AGV: Ácidos Grasos Volátiles
- AIA: Acido Indolacético
- ANOVA: Análisis de Varianza
- FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
- GEI: Gases de Efecto Invernadero
- HSD: Honestly Significant Difference
- ICP: Método plasma de acoplamiento inductivo
- INIA: Instituto Nacional de Innovación Agraria
- ITIS: Integrated Taxonomic Information System of North América
- MINAGRI: Ministerio de Agricultura y Riego
- MINAM: Ministerio del Ambiente
- NPK: Nitrógeno, Fósforo y Potasio
- OES: Emisión Óptica con Plasma Acoplado Inductivamente (Optical Emission Spectrometry)
- TRH: Tiempo de Retención Hidráulica
- SENAMHI: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú

ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN 1

ANTECEDENTES 3

HIPÓTESIS 7

OBJETIVO GENERAL 7

OBJETIVOS ESPECÍFICOS 7

CAPÍTULO I 8

1. MARCO TEÓRICO 9

1.1 Biol y biogás 9

1.2 Beneficios de los biofertilizantes 9

1.3 Biodigestores batch vs. continuos: ventajas y limitaciones. 10

1.4 Materiales para construcción low-cost 12

1.4.1 A. Biodigestores batch de Vidrio (1L) – Fase Piloto o Laboratorio 13

1.4.2 B. Biodigestores Escalados (10L) – Fase Experimental de Escalado 13

1.5 Ventajas de los Materiales Low-Cost 14

1.6 Diseño y Optimización de biodigestores a escala piloto: Consideraciones teóricas para la estabilidad operativa 15

1.7 Contexto Local 16

1.8 Tiempo de retención hidráulica 17

1.9 Digestión Anaerobia 17

1.9.1 Hidrólisis 17

1.9.2 Acidogénesis 18

1.9.3 Acetogénesis 19

1.9.4 Metanogénesis 19
1.10 Características del biogás 20
1.11 Factores que inhiben la Producción de biogás y biol 21
1.11.1 Características inhibitorias físico-químicas 21
1.11.2 Características inhibitorias biológicas 21
1.11.3 Características inhibitorias Operaciones 22
1.11.4 Características inhibitorias intrínsecas 22
1.12 Factores que pueden inhibir la producción de metano 23
1.13 Efectividad del biol en las Etapas Fenológicas de Cultivos de Majes y su Contribución a los Requerimientos Energéticos. 24
1.13.1 Germinación 25
1.13.2 Crecimiento vegetativo 25
1.13.3 Floración y fructificación 26
1.14 Uso de Residuos y su Optimización 26
1.15 Tomate 26
1.15.1 Taxonomía de Tomate 27
1.16 Papa 28
4.16.1. Taxonomía de Papa 28
1.17 Selección de los Cultivos de Estudio: Papa y Tomate en la Provincia de Caylloma 29
1.18 Conceptualización de Rendimiento y Producción Agrícola 29
1.19 Importancia de los residuos para la Generación de biol y biogás 30
1.19.1 Caracterización de residuos de papa y tomate 31
1.20 Pretratamiento de biol a partir de residuos orgánicos de papa y tomate 32
1.21 Beneficios Ambientales 32
1.21.1 Aplicaciones: 32
1.22 Rendimiento y Aplicación del biol en la agricultura 33
1.22.1 Aplicación foliar de biol: 33
1.22.2 Aplicación al suelo del biol: 33
1.22.3 Rendimiento del biol 33

1.23 Mecanismos de acción del biol. 34
1.24 Limitaciones del uso del biol 34
1.25 Marco normativo e Institucional para el Aprovechamiento de Residuos Agroindustriales en Perú-Arequipa 35
CAPÍTULO II 36
2. METODOLOGÍA 37
2.1 Lugar de Ejecución 37
2.2 Materiales 37
2.2.1 Materiales biológicos 37
2.2.2 Insumos: 37
2.2.3 Reactivos Químicos 37
2.2.4 Materiales de Laboratorio 37
2.2.5 Equipos 37
2.2.6 Software 38
2.2.7 Otros 38
2.3 Métodos 38
2.3.1 Determinación del cultivo agrícola con mayor disponibilidad en la región de Caylloma, Majes 38
2.3.2 Construcción de los biodigestores tipo batch para la producción de biol y biogás 39
2.3.3 Análisis composicional de la materia prima 39
2.3.4 Producción de biol y biogás. 41
2.3.5 Caracterización fisicoquímica y microbiológica del biol 45
2.3.6 Pruebas de germinación con semillas de tomate y quinoa 47
2.3.7 Método para la producción de biol, biogás en un tanque de 10L 48
2.3.8 Uso de Tanques de 10 Litros en la Producción de biol 50
2.3.9 Limitaciones 51
2.3.10 Método Estadístico 52
2.3.11 Análisis Post-Hoc: Comparaciones Individuales 54
CAPÍTULO III 55

3. RESULTADOS 56
3.1 Características del biol 57
3.1.1 Producción de gas por tipo de residuo 58
3.2 Efecto del tipo de semilla 64
3.3 Efecto de la concentración de biol 64
3.4 Resultados de escalamiento a 10 litros 68
3.5 Producción y acumulación de biogás durante la fermentación 69
3.6 Análisis estadístico en conjunto de la producción de gas. 70
3.6.1 Consolidación de los datos experimentales 71
3.7 Prueba de Kruskal-Wallis para la germinación de semillas de quinua. Metodología estadística 73
3.7.1 Suma de rangos y Medianas por Concentración de biol 74
3.7.2 Análisis Post Hoc mediante la Prueba de Dunn con Corrección de Bonferroni 75
3.8 Análisis no Paramétrico de la Germinación Mediante la Prueba de Kruskal-Wallis para la germinación de Tomate. 77
3.8.1 Análisis Post Hoc mediante la Prueba de Dunn con Corrección de Bonferroni 78
4. CONCLUSIONES 82
5. RECOMENDACIONES 83
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 84

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comparación de porcentajes del biogás entre dos autores- burnaro y avalos 20

Tabla 2. Métodos de análisis fisicoquímico para el biol de papa del batch de un 1l 46

Tabla 3. Metodología para el análisis de biol de papa del batch de 1L 47

Tabla 4. Propiedades del biol obtenido de la fermentación de residuos de papa 57

Tabla 5. Producción en gas (en mL) en sistemas de papa, tomate y control durante 5 días (Primer grupo) 59

Tabla 6. Producción de gas (en mL) en sistemas de papa, tomate y control durante 5 días (Segundo Grupo) 60

Tabla 7. Análisis de Germinación de las Semillas de Quinua 66

Tabla 8. Análisis de Germinación de las Semillas de Tomate 66

Tabla 9. Producción promedio semanal de biogás durante el tiempo de retención hidráulica de 35 días en un reactor batch de 10L 70

Tabla 10. Producción de gas (mL) en todos los sistemas experimentales durante 5 días en un batch de 1L 71

Tabla 11. ANOVA unidireccional para la producción de gas en el día 5 72

Tabla 12. Estadístico descriptivo de la producción de gas (Dia 5) 72

Tabla 13. Prueba de Tukey HSD para comparaciones por pares 73

Tabla 14. Suma de rangos y medianas por concentración de biol 74

Tabla 15. Resultado de la prueba de Kruskal Wallis 75

Tabla 16. Resultados de la Prueba de Dunn para las comparaciones múltiples (solo el 3%) 76

Tabla 17. Suma de Rangos y Mediana por Concentración de biol (Tomate) 77

Tabla 18. Resultado de la Prueba de Kruskal Wallis 78

Tabla 19. Resultados de la Prueba de Dunn para Comparaciones Múltiples (Valores de p Ajustados) 78

Tabla 20. Producción de los Cultivos de Papa y Tomate en la Provincia de Caylloma 2022 100

Tabla 21. Producción de los cultivos de papa y tomate en el Provincia de Caylloma 2024 a 2025 103

Tabla 22. Producción de la campaña agrícola 2025 de siembras y cosechas en Arequipa 107

Tabla 23. Producción de gas en litro obtenidas cada semana por triplicado en un batch de 10 L 114

Tabla 24. Matriz completa de comparaciones por pares mediante la prueba de Dunn para la quinua 115

Tabla 25. Matriz completa de comparaciones por pares mediante la prueba de Dunn para el tomate 116

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Proceso de digestión Anaerobia para la creación de biol y biogás. 19

Figura 2. Digestores batch de 1L para la producción de biol y biogás.....39

Figura 3. Trituración o proceso de molienda de los residuos vegetales en pequeños fragmentos como etapa previa a la digestión. 42

Figura 4. Implementación de agujeros para el paso de una manguera para la recolección de gas mediante la técnica de probeta invertida 43

Figura 5. Esquema de los sistemas batch iniciales 44

Figura 6. Probetas vacías tras el desplazamiento de agua por la generación de gas de los reactores tipo batch de 1L 45

Figura 7. Distribución de semillas en las placas petri para las pruebas de germinación en diferentes concentraciones de biol 48

Figura 8. Tanques batch de 10 L utilizados para la fermentación 50

Figura 9. Foto del biol en su etapa final de fermentación anaeróbica en los batch de 1L 56

Figura 10. Comparación visual de cómo se media el gas mediante probeta invertida (a) y la recolección de gas dentro de los sistemas batch con bolsas de recolecccion (b) 58

Figura 11. Producción de gas de los sistemas de papa, tomate y blanco del segundo control 62

Figura 12. Producción de gas en los sistemas de papa, tomate y blanco en el primer control.....63

Figura 13. Crecimiento de Semillas de Quinua (a) y tomate (b) en una concentración de biol al 3% durante 1 semana 67

Figura 14. Acumulación de gas en las bolsas de recoleccion combinadas de 2L en un reactor batch de 10L en su primera semana 69

Figura 15. Producción promedio semanal durante 35 días de TRH del reactor batch de 10L.....70

Figura 16. Trituración manual de los residuos agrícolas de tomate y papa 119

Figura 17. Trituración finalizada de los residuos agrícolas de tomate y papa después de un secado natural bajo el sol 119

Figura 18. Capacitación para la creación de biol a partir de tanques de 100 L sin residuos industriales 120

Figura 19. Capacitación de concentraciones efectivas de Riego de biol sobre cultivos de cebolla 120

Figura 20. Comparativa de los precios de los tanques de 10L y 100L 121

Figura 21. Comparativa Visual de los residuos de papa y tomate 122

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. Producción y Rendimiento de los Cultivos de Caylloma 100

ANEXO 2. Resultados de la generación de gas por triplicado en los sistemas batch de 10L 114

ANEXO 3. Resultados de la prueba de comparaciones múltiples de Dunn para los porcentajes de germinación de acuerdo a la concentración. 115

ANEXO 4. Análisis composicional del estiércol 117

ANEXO 5. Análisis composicional del Suero de Leche 118

ANEXO 6. Trituración de los residuos agrícolas de papa y tomate 119

ANEXO 7. Curso y guía del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) en el sector de Santa Rita, para la elaboración de Biorreactores 120

ANEXO 8. Precios de los Materiales 121

ANEXO 9. Precios y Comparativa de los materiales 122

INTRODUCCIÓN

Uno de los desafíos críticos para la gestión sostenible de los diferentes residuos agrícolas en regiones de alta productividad agroindustrial, como lo es el valle de Majes en Arequipa, Perú; es el manejo correcto de los desechos de la cosecha. Esta región se caracteriza por una producción intensiva de cultivos como la papa, la cebolla, el tomate y el ají, los cuales generan anualmente miles de toneladas de residuos vegetales, constituidos principalmente por hojas, tallos, raíces y frutos no comerciales. Lamentablemente, la mayor parte de estos residuos son quemados o abandonados en los campos. De acuerdo con los datos del Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI), la zona de Majes presenta un rendimiento agronómico significativo, evidenciado por la producción estimada anual de aproximadamente 29,000 toneladas de papa y 50,000 toneladas de tomate. Estas cifras reflejan la alta eficiencia en el uso del suelo y la aptitud agroclimática de la región, resultado de la aplicación de técnicas adecuadas, el uso de genotipos mejorados y condiciones ambientales favorables (1).

Sin embargo, este elevado rendimiento genera también una considerable cantidad de subproductos y residuos agrícolas. Lo que propone este proyecto es que dichos subproductos poseen un potencial bioeconómico desaprovechado, y pueden ser transformados mediante procesos biotecnológicos como la digestión anaeróbica en recursos de alto valor agregado, tales como biofertilizantes (biol) o biogás, contribuyendo así a una agricultura más circular y sostenible en la zona (2).

El impacto ambiental asociado a esta problemática es multifacético. La incineración de residuos libera gases de efecto invernadero, como el dióxido de carbono (CO_2), los cuales contribuyen al cambio climático y a la degradación de la calidad del aire, con consecuencias nocivas para la salud humana. Paralelamente, la descomposición no controlada de estos materiales genera lixiviados que pueden infiltrarse en el suelo, contaminando los acuíferos y afectando negativamente la fertilidad edáfica a largo plazo lo que es una consecuencia grave. Estos lixiviados procedentes de la descomposición de residuos agrícolas arrastran compuestos como nitratos y pesticidas hacia las aguas subterráneas, lo que deteriora significativamente la calidad de este recurso para consumo humano y riego (3).

Específicamente, el análisis de suelos realizados en el valle ha identificado la marcada presencia de compactación junto con un proceso creciente de salinización en la zona. Esta

situación crítica ha sido estrechamente vinculada con las prácticas agrícolas predominantes, en particular, el uso excesivo e incontrolado de fertilizantes químicos. Dicha práctica, sumada a la deficiencia en la aplicación de enmiendas orgánicas, compromete la estructura y la salud edáfica a largo plazo, haciendo indispensable la implementación de estrategias de manejo sostenible (4).

Cabe resaltar que la inefectividad de las políticas locales agrava sustancialmente el problema. Si bien existen normativas nacionales relevantes, como el Decreto Supremo N.° 006-2024-MIDAGRI, que implica que los agricultores deben de adaptarse a un nuevo marco regulatorio lo que incluye posibles cambios infracción y sanciones ambientales; o el antiguo Decreto Supremo N° 013-2022-MINAM, su implementación en la zona de Majes es casi nula. Esta falta de aplicación se debe principalmente a la ausencia de incentivos económicos o al desconocimiento técnico para su ejecución (5) (6).

Los residuos agrícolas representan una significativa oportunidad económica, al ser considerados comúnmente como desechos sin valor, cuando en realidad constituyen una materia prima potencial para la generación de energía renovable y, especialmente, para la producción de fertilizantes orgánicos. Su aprovechamiento podría reducir sustancialmente los costos de producción en el sector agrícola y disminuir la dependencia de insumos químicos (7).

En la actualidad, las soluciones implementadas en la región son limitadas. Algunos agricultores optan por el compostaje tradicional; no obstante, este método no aprovecha el considerable potencial energético que poseen los residuos agrícolas. Una alternativa viable a mayor escala es la implementación de biodigestores industriales. Sin embargo, esta tecnología resulta inviable para los pequeños productores, que constituyen el objetivo principal de este estudio, debido a sus altos costos y a la complejidad técnica que implica. Esta problemática exige el desarrollo de biodigestores artesanales de bajo costo, capaces de convertir los residuos agrarios en biol y biogás, siguiendo modelos previamente aplicados en regiones con desafíos similares (8).

El biogás o biometano obtenido mediante este proceso es una mezcla de gases combustibles generada por la digestión anaerobia de materia orgánica en condiciones controladas. Está compuesto principalmente por 55-70% de metano (CH_4), 30-45% de dióxido de carbono (CO_2) y trazas de otros gases (9). Puede producirse a partir de una amplia variedad de residuos, entre los cuales destacan los de tipo lignocelulósico, debido

a su abundancia a nivel global, con una generación estimada de 200 billones de toneladas anuales (10). La zona de Majes, en la región de Arequipa, presenta esta misma problemática: residuos agrícolas, como los de papa y tomate, carecen de utilización adecuada y con frecuencia son desechados o incinerados, lo que genera un impacto ambiental negativo y desaprovecha recursos que podrían ser reutilizados como abono orgánico.

ANTECEDENTES

La producción de biogás a partir del biol ha sido objeto de investigación durante varias décadas. Uno de los primeros estudios se centró en la digestión anaerobia a partir de estiércol de animal para producir biogás asimismo establecer la composición química del metano (11).

En los últimos años, se ha incrementado el interés en la producción de biogás a partir del biol y ha pasado a ser una técnica relativamente simple, naturalmente con el principal objetivo de generar energía o producto (12).

La investigación de Condor López, aborda la optimización de la digestión anaeróbica mediante la implementación de biodigestores en configuración batch para que se haga una producción simultánea de biogás y biol a partir de residuos agropecuarios. En este estudio se centró en aplicar un pretratamiento en los sustratos mediante la técnica de bokashi con el fin de mejorar la hidrólisis y la disponibilidad de materia orgánica. Lo que logró obtener, demostró que el pretratamiento si impacta positivamente la cinética del proceso, así mismo evidencia un incremento en la calidad y el volumen de biogás producido, y optimizando las propiedades fisicoquímicas del biol resultando como fertilizante orgánico. Gracias a este estudio se subraya la eficiencia de la preparación del sustrato (13).

La investigación de Ponce Mallea tuvo como objetivo optimizar los parámetros para la generación de biogás a partir de desechos del camal y estiércol de vacunos. Se probaron tres cosustratos en reactores a diferentes temperaturas y tiempos de residencia hidráulica, encontrando que en su sustrato 3 (S3), con un tiempo de retención hidráulica de 6 días a una temperatura de 39°C, produjo la mayor cantidad de biogás. Este resultado se escaló al biodigestor HPTC de 3m3, donde se obtuvo una composición de 73.10% de metano (CH_4), 18.00% de dióxido de carbono (CO_2), 4.00% de oxígeno ($O_{2)}$ y por último 0.14%

de ácido sulfúrico (H_2S); y una generación media de 5.1983 m3 biogás/día. Se estima que la energía producida es de 37.035 kWh/día/m3 CH4 (14).

En la elaboración de fertilizantes orgánicos líquidos a partir de desechos agrícolas y de fábricas; y en la evaluación de la efectividad de estos fertilizantes en la promoción del crecimiento de las plantas en un sistema hidropónico. Los sustratos orgánicos utilizados para la producción de los fertilizantes incluyeron melaza, residuos de destilería y hojas de caña de azúcar. Se produjeron seis fórmulas diferentes de fertilizantes orgánicos líquidos con diferentes proporciones de los sustratos mencionados. Los fertilizantes se incubaron a temperatura ambiente durante 30 días y se analizaron química y microbiológicamente en los días 15 y 30. Se midieron los parámetros químicos como el pH, la conductividad eléctrica, el nitrógeno total, el fósforo y el potasio totales, y se midieron parámetros microbiológicos como la fijación de nitrógeno, la disolución de fosfato y la disolución de potasio. También se midió el contenido de ácido indolacético (AIA) en los fertilizantes orgánicos líquidos. El aumento no es un porcentaje fijo, sino que F3 y F5 igualaron o superaron en varios parámetros al fertilizante químico, demostrando ser efectivas para el crecimiento de lechuga Green Cos Lettuce en hidroponía, según Riddeche et al.(15).

En la Tesis de Gallegos Llerena, et al. Se decidió estudiar el mejor componente agroindustrial para la producción de biol con estos residuos agroindustriales principalmente de parques de Arequipa todo para que se pueda utilizar de forma artesanal para la producción de biol e intentando evitar la producción de biogás. Se utilizó hojas de *Swetenia macrophylla*, y pasto; sobre todo la combinación de ambos. Todo se juntó dentro de un sistema batch en diferentes concentraciones.

Después todos los productos, el biol y el biogás, fueron analizados para ver su viabilidad. De la producción de los biodigestores se concluyó que el biol cumplen con los requisitos para ser considerado fertilizante orgánico, destacando que la mejor producción fue el de las Hojas en el análisis de carbono, nitrógeno total, potasio, fósforo y relación C/N.

Lamentablemente en esta investigación el biogás que obtuvieron fue de mala calidad, pero el volumen obtenido total de los biodigestores fue alto, sin embargo, el biodigestor de pasto produjo mucho menos que los blancos (16).

La investigación de Aguilar Vargas, se enfocó en la codigestión anaeróbica como estrategia para el manejo de residuos agroindustriales de alta disponibilidad, donde

empleó la pulpa de café combinada con estiércoles animales en un biodigestor artesanal. Este antecedente se orientó a determinar la viabilidad de esta mezcla de sustratos para la obtención de biogás y biol, mediante el análisis exhaustivo de parámetros fisicoquímicos durante el proceso. Los hallazgos confirmaron que la combinación de residuos con diferente composición (alto contenido de carbono de la pulpa y alto contenido de nitrógeno del estiércol) genera un balance de nutrientes más favorable (relación C/N), lo que resulta en una producción de biogás sostenida y una mejora en las características agronómicas del biol. Este trabajo provee un marco de referencia crucial para la experimentación de sustratos combinados y la valorización de residuos agrícolas específicos en sistemas de biodigestión (17).

Otro estudio, Ramírez Lizares y Carlos Albertos desarrollaron un abono líquido de fácil elaboración y aplicación, el cual demostró ser efectivo independientemente de la materia orgánica presente en el suelo.

Se fabricó un sustrato artesanal con un bajo nivel nutricional para poder dictaminar los efectos reales de los abonos y la materia orgánica. En la mezcla se utilizan dos partes de arena y una de arcilla, las cuales fueron lavadas durante dos semanas antes del trasplante. En los experimentos se realizaron con plántulas de pimiento, para comprobar el crecimiento.

El diseño experimental, es un diseño en bloques completos al Azar (DBCA) 4x4 y fueron un total de 3 repeticiones. Dentro de los abonos líquidos estudiados, fueron de origen vegetal, animal y por último comercial (LC), pero la materia orgánica o desechos que fueron aplicados al suelo, tienen su origen de animales, vegetales y mixto. Al combinarse estos factores en 16 tratamientos, donde se aplicó 250 gramos de materia orgánica por planta al inicio, adicionalmente se agregaron 100 mL de abono líquido durante las cuatro primeras semanas, reduciéndose a 50 mL por el resto del experimento, al finalizar midieron las alturas de las plantas, la cantidad de hojas, el rendimiento y además las deficiencias nutricionales, concluyendo que los tratamientos que utilizó la materia orgánica vegetal y con las adiciones de abonos líquidos de origen vegetal y comercial fueron los más efectivos (18).

Por último, la tesis presentada por Ramos Zorrilla, fue realizada en el invernadero de la Universidad Católica de Santa María en Arequipa, durante el periodo de noviembre de

2022 a abril del 2023. Su principal objetivo fue estudiar las características del residuo orgánico frass y un biofertilizante.

Se evaluaron en tres concentraciones de biofertilizante (F1: 0%, F2: 5%, y F3: 10%) aplicada de forma foliar en 3 concentraciones y además se realizó con combinación con dos concentraciones aplicadas al suelo (S1:0% y S2:10%), para esta tesis se realizó un diseño experimental factorial de 3x2 con cuatro repeticiones, totalizando 24 unidades experimentales.

El frass (residuo orgánico producido por las larvas de *Hermetia illucens*, compuesto por heces, restos de alimento y material biológico, con potencial uso como fertilizante.) que se obtuvo dentro de las instalaciones de la Universidad Católica de Santa María, se procesó dentro de un biodigestor, donde se monitorea la temperatura (aprox. 20–35 °C) y la agitación. El biofertilizante que salió de esto, mostró una baja densidad aparente, alta conductividad eléctrica, bajo aporte de macronutrientes y un significativo contenido de microelementos como cobre y zinc. En lo que se refiere al mismo biofertilizante, se logró observar una gran composición de nitrógeno, fósforo y potasio, además de microelementos con la ausencia de *Salmonella spp*.

Al final lo resultado que se obtuvieron indicaron que la aplicación de biofertilizante a un 10% en el suelo, aumenta bastante el contenido foliar de fósforo, potasio, azufre, cobre, zinc, hierro y boro, mostrando un gran efecto en el cultivo, sin embargo, no hubo un gran efecto en lo referido a la altura de planta, peso de las semillas, clorofila y ni rendimiento final de granos.

Como segundas conclusiones, en la aplicación foliar al 10% se logró aumentar significativamente el contenido de materia seca, superando considerablemente las demás concentraciones (19).

Por lo tanto, el presente estudio plantea la evaluación del desempeño local en la producción de biogás y biol a partir de residuos agrícolas locales mediante digestión anaerobia en sistema batch, así como el análisis de la calidad agronómica del biol obtenido.

HIPÓTESIS

Dado que los residuos agroindustriales son sustratos orgánicos complejos que son degradados metabólicamente por las bacterias y que los residuos de papa funcionan como una fuente de carbono y energía de fácil degradación, se postula que el uso de estos residuos con estiércol fresco y suero láctico dentro de un sistema batch permitirá optimizar la producción de biogás y la obtención de un biol con alta carga de nutrientes. En consecuencia, la aplicación de este biol en la fase de germinación favorecerá significativamente el crecimiento y desarrollo radicular frente a un tratamiento control.

OBJETIVO GENERAL

Evaluar y comparar el potencial de los residuos de papa y tomate, de alta disponibilidad en Majes (Caylloma, Arequipa), para la producción conjunta de biogás y biofertilizante en un sistema *batch* con materiales accesibles.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Identificar y seleccionar los residuos agrícolas con mayor potencial para la producción de biogás, basándose en el análisis de superficie cultivada y rendimientos por hectárea en la zona de Caylloma.
- Determinar el volumen y rendimiento del biogás obtenido a partir de residuos de papa y tomate en sistema batch en condiciones controladas de digestión anaeróbica.
- Determinar los parámetros fisicoquímicos, bioquímicos y microbiológicos del biol producido.
- Evaluar la calidad agronómica del biol mediante pruebas de germinación y desarrollo vegetal, comparándola con un tratamiento control.
- Determinar la cantidad de biogás producido a partir de residuos de papa, mediante la cuantificación volumétrica obtenida en escalado.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Biol y biogás

Los biofertilizantes, también denominados abonos líquidos o biol, se producen mediante la fermentación anaerobia de una mezcla que incluye estiércol ganadero, residuos agrícolas hidrolizados, bacterias ácido lácticas (principalmente del género *Lactobacillus*) y un sustrato carbónico (como la melaza) que actúa como fuente de energía para los microorganismos. Estos sustratos se introducen en un digestor, donde se lleva a cabo el proceso de fermentación controlada que da como resultado el biofertilizante líquido, adicionalmente también dará un subproducto fundamental siendo el biogás (20).

El biogás constituye una mezcla gaseosa generada como resultado de la digestión anaerobia de materia orgánica. Su composición es variable y depende del sustrato utilizado y de las condiciones del proceso, pero se compone principalmente de metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2). Adicionalmente, puede contener trazas de otros gases, como sulfuro de hidrógeno (H_2S), amoníaco (NH_3) y vapor de agua (16).

1.2 Beneficios de los biofertilizantes:

Diversos estudios indican que el uso adecuado de biofertilizantes requiere un análisis previo de los requerimientos nutricionales del cultivo, así como de las características del suelo y la etapa fenológica, con el fin de optimizar su efectividad.

Pero sus principales utilidades del biofertilizante radican en su capacidad para favorecer el enraizamiento y optimizar la floración de una amplia gama de cultivos. A nivel bioquímico, el biol actúa como un potente bioestimulante ecológico, propiciando la solubilidad y biodisponibilidad de diversos micro y macronutrientes esenciales en el suelo, lo cual resulta en una absorción optimizada por parte de la planta. Esta acción directa sobre la nutrición de la planta se traduce en excelentes resultados en campo, mejorando el poder germinativo de las semillas y contribuyendo a la rápida recuperación de plantas que han sido afectadas por estrés abiótico, como heladas y granizadas.

Desde una perspectiva económica y ambiental, el biol presenta una ventaja competitiva significativa debido a su facilidad y bajo costo de producción. El proceso requiere un tiempo de espera relativamente corto (días, en contraste con otros abonos) y es

inherentemente amigable con el ambiente, ya que evita la liberación de contaminantes y químicos innecesarios asociados a los fertilizantes sintéticos (21).

1.3 Biodigestores batch vs. continuos: ventajas y limitaciones.

Para la biodegradación de materia orgánica mediante la fermentación anaeróbica, con el objetivo de producir biol y biogás, una de las mejores opciones es implementar biodigestores, el problema es que existen diversos sistemas los cuales tenemos que discernir para ver que se implementar de acuerdo a las necesidades de nuestro estudio.

La elección entre un sistema por lotes (batch) o continuo es fundamental y depende de factores como los objetivos operativos, las características de los sustratos y el contexto específico de implementación. En el presente estudio, cuyo fin es comparar la producción de biogás y biol a partir de residuos de papa y tomate en el distrito de Majes, resulta esencial evaluar las ventajas y limitaciones de cada tipo de biodigestor. Esta evaluación debe considerar la disponibilidad de recursos (estiércol, residuos agrícolas, etc.), los costos de implementación, los requisitos de mano de obra y la eficiencia en la generación de los productos.

Los sistemas por lotes (batch) operan de manera discontinua, todos los sustratos se cargan una única vez al inicio del proceso, y la fermentación se lleva a cabo hasta la finalización del ciclo de digestión.

Entre sus ventajas destacan su diseño simple y su fácil construcción, ya que pueden implementarse utilizando materiales de bajo costo y fácil acceso en la región, como bidones de 10 a 20 litros, baldes o contenedores adaptados. Esto los hace ideales para proyectos con presupuestos limitados. Además, estos sistemas son adecuados para el tratamiento de residuos sólidos o semisólidos, como los utilizados en esta investigación, y permiten la aplicación de pretratamientos sencillos que pueden mejorar la eficiencia del proceso biológico (19).

El monitoreo de parámetros como la producción de biogás (mediante métodos artesanales como probetas invertidas o globos de látex), la toma de muestras y la medición de temperatura se facilita por tratarse de un sistema cerrado y estático. Otra ventaja significativa es su adaptabilidad a la estacionalidad de los residuos agrícolas, ya que pueden manejarse en lotes discretos que coinciden con las épocas de cosecha de papa y tomate, sin requerir alimentación continua (22).

No obstante, también presentan limitaciones importantes que deben considerarse. Una de ellas es la baja producción de biogás en comparación con los sistemas continuos, debido a la naturaleza discontinua del proceso: una vez finalizada la fermentación, los recipientes deben vaciarse, limpiarse y recargar manualmente para iniciar un nuevo ciclo. Esto resulta en periodos de inactividad que afectan la disponibilidad continua de energía. Asimismo, la producción de biogás ocurre en picos, especialmente durante las fases iniciales de acidogénesis y acetogénesis, así como durante la degradación natural de los sustratos. Por lo tanto, este sistema no es adecuado para aplicaciones que requieran un suministro estable de biogás. Por último, existe el riesgo de acumulación de amoníaco o ácidos volátiles durante las etapas iniciales del proceso, especialmente cuando se utilizan tallos u hojas como sustrato, lo que puede requerir ajustes de pH mediante la adición de amortiguadores (23).

Por otro lado, los biodigestores continuos están diseñados para operar de manera ininterrumpida, mediante una alimentación constante o semicontinua que mantiene un volumen estable en el reactor. Este diseño permite una producción estable y predecible de biogás lo que facilita la cuantificación precisa del gas generado y asegura un suministro continuo de energía. Este digestor beneficia el equilibrio dinámico entre las poblaciones microbianas y los sustratos dentro del sistema, mejorando la estabilidad del proceso, haciéndolo ideal para aplicaciones que demandan un flujo constante de biogás, como generadores eléctricos o sistemas de cocina. Otra ventaja significativa es su capacidad para manejar volúmenes mayores de sustrato, lo que permite su implementación en plantas de procesamiento a gran escala. Asimismo, a diferencia de los sistemas por lotes, no requieren limpieza constante y recarga frecuentes, reduciendo así la demanda de mano de obra para operaciones rutinarias (24).

Las desventajas de los sistemas continuos es que su implementación implica una mayor complejidad técnica y costos iniciales elevados, debido a la necesidad de componentes sofisticados, como sistemas de alimentación automatizados y controles de proceso. Además, requieren que los sustratos sean molidos hasta una consistencia fina o semilíquida para evitar obstrucciones en los mecanismos de extracción y garantizar una digestión eficiente. Otra desventaja crítica es su dependencia de un suministro persistente y uniforme de sustrato, lo que los hace incompatible con residuos marcadamente estacionales, como los de papa y tomate, que se generan en grandes volúmenes durante períodos cortos seguidos de intervalos prolongados sin disponibilidad (25).

Al examinar ambos tipos de biodigestores en el contexto específico de la investigación sobre el aprovechamiento de residuos de papa y tomate en Majes, se destacan diferencias fundamentales que guían la selección del sistema apropiado. En el ámbito económico, los biodigestores por lotes (batch) presentan una ventaja significativa debido a su bajo costo inicial. Por el contrario, los sistemas continuos más sencillos requieren una inversión mínima bastante alta que va dependiendo de su complejidad (26).

En cuanto a la producción de biogás, cada sistema satisface necesidades distintas: mientras los sistemas continuos generan gas de manera constante, requieren un suministro continuo de sustrato. Por otro lado, los sistemas por lotes son superiores en el manejo de residuos estacionales, ya que permiten cargas discretas coincidentes con las épocas de cosecha, lo que los hace más adaptables a la disponibilidad intermitente de materia prima. Esta característica es crucial para el contexto agrícola de Arequipa, donde los residuos se concentran en períodos específicos.

Entonces considerando las condiciones de Majes, Arequipa, donde es más predominante pequeñas y medianos grupos agricultores con un acceso limitado a dinero y un manejo técnico, y teniendo en cuenta la adición de los residuos de papa y tomate tienen una disponibilidad marcadamente estacional, es donde los sistemas batch surgen como la opción más segura, práctica y viable para que genere este mecanismo. No obstante, en un contexto más particular, en donde se trata de empresas o plantas de procesamiento donde sí se puede utilizar flujos constantes de residuos, se optará por los batch continuos. Sea cual sea el caso, la decisión debe de basarse con un análisis precavido de los recursos disponibles, el volumen, etc.

1.4 Materiales para construcción low-cost

La estrategia clave para la construcción de biodigestores funcionales de pequeña y gran escala radica en el uso de materiales de costo reducido. Esto es fundamental para poder difundir la tecnología y los beneficios de la digestión anaerobia, especialmente en el distrito de Majes, donde se requiere un bajo presupuesto para adaptarse a las necesidades locales. El objetivo es diseñar sistemas que permitan la producción eficiente de biol y biogás. A continuación, se detallan los materiales que se pueden emplear (27).

1.4.1 A. Biodigestores batch de Vidrio (1L) – Fase Piloto o Laboratorio

- **Frascos de vidrio (1L):**

  Para la fase inicial de caracterización y optimización, se emplearon biodigestores de batch de 1L que han sido fabricados a partir de vidrio. Este material presenta ventajas significativas para poder realizar nuestra investigación científica mediante el proceso de digestión anaeróbica. La naturaleza químicamente inerte del vidrio garantiza que no interactúe con los ácidos orgánicos u otros compuestos que se generan durante la fermentación, evitando así la inhibición de nuestros consorcios microbianos. La transparencia que ofrece el vidrio permite un monitoreo visual directo para poder ver los cambios durante las diferentes etapas de la fermentación.

- **Sistema de sellado y recolección de gas:**

  El sistema de sellado y recolección de gas fue diseñado para tener componentes económicos y eficaces. Aquí se utilizó las mismas tapas de las botellas de vidrio para hacer una perforación e insertar una manguera de bolsa de recolección (diámetro de 4-6mm). Todas las conexiones se pueden selladas con silicona industrial para garantizar la hermeticidad y prevenir las posibles fugas de gas y mantener las condiciones estrictamente anaerobias.

  Para poder hacer la cuantificación volumétrica, se implementó un método de desplazamiento de agua que utiliza probetas de 500 mL invertidas en recipientes de aguas. Este método está ampliamente documentado dentro de la literatura científica para experimentos de pequeña escala. Permitiendo así una medición directa y precisa del volumen de biogás producido, debido a que el gas logra desplazar la columna de agua equivalente a su volumen.

1.4.2 B. Biodigestores Escalados (10L) – Fase Experimental de Escalado

- **Bidones de plástico HDPE (10L):**

Para poder hacer una validación a mayor escala, se utilizaron bidones de plástico HDPE (Polietileno de Alta Densidad) de 10L, típicamente utilizados para ser envases de combustibles o agua purificada. El HDPE es un material que en teoría es idóneo para la digestión anaeróbica debido a que posee una alta resistencia a impactos y su inercia química que previene la lixiviación de sustancias tóxicas al medio de fermentación y la degradación del material. Además de que posee una facilidad de transporte y manipulación (28) (29).

- **Sellado y seguridad:**

  Las adaptaciones que dan a los biodigestores para que lleguen a ser funcionales incluye una tapa hermética original, la cual fue adicionada también una manguera de bolsas de recolección o bolsas Tedlar de 2L para tener un almacenamiento temporal, para que posteriormente se haga un análisis de gas. El sellado para las uniones se reforzó con silicona de alta temperatura, donde se asegura la hermeticidad necesaria para mantener un ambiente estrictamente anaeróbico y para intentar prevenir pérdidas de biogás.

1.5 Ventajas de los Materiales Low-Cost

La filosofía de implementar un diseño "low-cost", confiere ventajas tangibles que se alinean con los objetivos de tecnologías apropiadas y accesibles:

1. **Minimización de Costos:** El costo unitario de cada biodigestor de 10 L fue inferior a 70 PEN (aproximadamente 20 USD), representando una fracción mínima del costo de los sistemas comerciales, los cuales pueden oscilar entre 200 hasta 5000 PEN. La reutilización de bidones redujo en muchos casos la inversión inicial a cero, un factor crucial para la adopción a nivel de pequeños agricultores (28).
2. **Disponibilidad Local y Sostenibilidad:** Todos los componentes (bidones, mangueras, válvulas, silicona) se adquirieron en ferreterías y comercios locales de Arequipa, lo que elimina la dependencia de la importación de tecnología, simplifica la logística y fomenta la economía circular. Se puede ver en

3. **Facilidad de Mantenimiento y Reparación:** La simplicidad del diseño permite que cualquier fuga o componente dañado (ej., una manguera) pueda ser reemplazado en minutos sin necesidad de herramientas especializadas o conocimiento técnico avanzado, asegurando la sostenibilidad operativa a largo plazo.

4. **Adaptabilidad y Resiliencia Climática:** El HDPE demostró una excelente resistencia a las fluctuaciones térmicas características de la región de Majes (amplitud térmica de aproximadamente 25°C día / 10°C noche), manteniendo su integridad estructural sin ser distorsionado, alterado o desproporcionado, lo que garantiza la durabilidad y firmeza del sistema en condiciones ambientales reales (30).

1.6 Diseño y Optimización de biodigestores a escala piloto: Consideraciones teóricas para la estabilidad operativa

Para el diseño eficiente de biodigestores a pequeña escala se requiere anticipar y mitigar limitaciones operativas comunes, las cuales tienen contexto desde los principios establecidos de ingeniería sanitaria y microbiología ambiental. Las diversas literaturas señalan que la estabilidad dentro del proceso anaeróbico depende críticamente de la interacción entre la integridad física del reactor y las condiciones termodinámicas del ambiente.

El biorreactor debe de ser hermético, este principio es fundamental para que se haga la biodigestión anaeróbica, ya que esto puede prevenir la pérdida de biogás valioso, además evita la entrada de oxígeno el cual puede resultar inhibitorio para los microorganismos metanogénicos que son estrictamente anaerobios.

Las fugas pueden originarse en uniones y tapas a veces debido a que los sellos pueden ser imperfectos o poseen superficies rugosas. Usualmente o en teoría, implementar un sistema de sellado combinado, como una junta elastomérica para un primer cierre y un sellante polimérico como la silicona para poder llenar o cerrar los microporos aumenta exponencialmente la eficiencia de cierre (31).

Durante la producción de biogás, el proceso o actividad metabólica que se genera en los consorcios microbianos está gobernada por la Ley de Arrhenius, donde se muestra una dependencia crítica con la temperatura. Lamentablemente cuando la temperatura del sustrato cae por debajo del rango mesofílico óptimo, que suele ser aproximadamente a los

35°C, y en particular cuando la temperatura cae debajo de los 15°C, la actividad metanogénica se inhibe significativamente. Por ende, se debe de utilizar materiales con una conductividad térmica baja para poder minimizar las pérdidas de energía contra el ambiente, esto mantendrá la temperatura interna relativamente estable, favoreciendo la eficiencia de los procesos biológicos (32).

Durante la selección del material del reactor debe de haber un equilibrio para la resistencia química, la resistencia al impacto y la viabilidad económica. El vidrio es perfecto para pruebas de laboratorio, debido a que permite la observación visual y es muy fácil en transporte como en mantenimiento, pero presenta una alta fragilidad y es susceptible al estrés mecánico. La transición hacia materiales más poliméricos, especialmente en el escalamiento, son mejores debido a su tenacidad a la fractura, resistencia a la corrosión y una mayor seguridad operativa (33).

1.7 Contexto Local

Dentro de la región de Arequipa, sus características geográficas y agroclimáticas únicas tienen una influencia grande y directa frente a la generación y manejo de sus residuos agrarios, en particular dentro de la región del Valle de Majes, un departamento con una productividad agrícola elevada.

Con una altitud de 1420 msnm y teniendo un clima semiárido, Majes es un departamento que tiene un sistema de riego tecnificado que ha permitido un desarrollo favorable para los cultivos de papa, tomate, cebolla y el ají, siendo unos de los ejes centrales importantes dentro de la economía agrícola de Arequipa. Pero debido a su gran producción este departamento tiene una producción anual de miles de toneladas de residuos vegetales que en la mayoría de veces son quemados o abandonados en los campos, lo cual puede generar problemas ambientales o sino una pérdida de recursos potencialmente valiosos (34).

Dentro del Valle de Majes, Arequipa, la producción de papa puede alcanzar aproximadamente 120,000 toneladas anuales, según los datos del Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI). Por otro lado, otro cultivo clave es el tomate, que supera las 80,000 toneladas durante la misma temporada. Pero lo que es importante para nosotros es la cantidad de residuos, en donde se genera alrededor de 30,000 toneladas de residuos (tallos, hojas, frutos no comerciales) que no son aprovechados en su totalidad (1) (2) (3), debido a que la práctica más común es la quema de residuos, una práctica rápida y tradicional para limpiar los campos, lo cual puede generar gases de efecto

invernadero. A esto se le puede sumar el intensivo uso de fertilizantes químicos en las cosechas que genera problemas de degradación de suelos y la contaminación de acuíferos, donde evidencia la necesidad de una alternativa sostenible, que, en este caso, sería el uso de biol (35).

1.8 Tiempo de retención hidráulica

Uno de los indicadores o criterios más importante para el diseño y producción de reactores, es el tiempo de retención hidráulica, debido a la influencia directa efectividad en el tratamiento e instalación. Pero esta variable depende de diversos factores como el espacio, el suelo, el volumen a manejar, el sustrato y su disponibilidad.

Como su nombre lo indica, el tiempo de retención hidráulica o TRH nos señala la cantidad de tiempo en días en el que los componentes líquidos albergan dentro del digestor (36) (37).

1.9 Digestión Anaerobia

Según bibliografía es referido a un procedimiento biológico donde diversos microorganismos logran interactuar entre ellos, en la ausencia de oxígeno, todo con el propósito final de afianzar la materia orgánica por conversión a metano, sumado a esto, está la coproducción de otros productos inorgánicos como el dióxido de carbono y el agua (38).

Dentro de este proceso de digestión se pueden presentar cuatro principales etapas en donde se pueden desarrollar de manera consecutiva o no, por diferentes microorganismos dentro del biorreactor como se muestra en la Figura 1.

La velocidad, sensibilidad u otros factores depende enteramente de la bacteria participante en tal acción y también sobre que los compuestos utilizados no contengan materiales inhibitorios para las bacterias, reduciendo así la producción de biogás.

1.9.1 Hidrólisis

La hidrólisis representa la etapa inicial y limitante de la digestión anaerobia; en esta fase, se produce la despolimerización de la materia orgánica compleja en compuestos solubles de menor peso molecular, facilitando su posterior asimilación por los microorganismos. En el caso de sustratos lignocelulósicos o residuos vegetales (como los excedentes de papa y tomate), la estructura celular

compleja requiere de una degradación enzimática eficiente para liberar los componentes aprovechables.

En este proceso, un grupo de bacterias hidrolíticas especializadas, segregan poderosas exoenzimas directamente al medio. Estas enzimas actúan como tijeras moleculares, cortando los enlaces químicos que mantienen unidas a las grandes macromoléculas orgánicas. Por ejemplo, las celulasas rompen los polisacáridos como el almidón en azúcares más pequeños como la glucosa; las proteasas descomponen las proteínas en aminoácidos, y las lipasas transforman las grasas y aceites en glicerol y ácidos grasos (39).

El objetivo de esta etapa es convertir el sustrato sólido y particulado en compuestos solubles y de menor peso molecular. Si la hidrólisis no es eficiente, el proceso entero se ralentiza. De hecho, a menudo se considera la etapa que limita la velocidad de toda la digestión anaerobia, ya que, si las bacterias hidrolíticas no logran descomponer el material de manera efectiva, no habrá suficiente "alimento" disponible para las siguientes etapas de la fermentación. Por esta razón, sustratos como los residuos de papa, con su alto contenido de almidón fácilmente hidrolizable, suelen ser más eficientes que aquellos con estructuras más rígidas como la lignina (38).

1.9.2 Acidogénesis

Durante esta etapa, los productos hidrolizados se transforman en ácidos orgánicos de cadena corta (ácidos grasos volátiles), hidrógeno y dióxido de carbono. Este proceso ocurre en condiciones de estricta ausencia de oxígeno, debido al carácter anaerobio estricto de las poblaciones bacterianas involucradas, para las cuales el oxígeno actúa como un agente inhibidor del metabolismo celular. En esta fase se logra la fermentación de las cadenas complejas de los compuestos orgánicos en moléculas más simples. Asimismo, se generan subproductos gaseosos como el amoníaco, dióxido de carbono y ácido sulfhídrico. Debido a la rápida tasa de conversión, esta etapa se denomina comúnmente Fase de Producción Intensiva de Ácidos (40).

1.9.3 Acetogénesis

En la fase de la acetogénesis, es la etapa donde la degradación de los alcoholes y compuestos aromáticos se lleva a cabo, para ser transformado mediante una deshidrogenación acetogénica a ácido acético. Las bacterias encargadas de este proceso demoran mínimo 1 a 4 días debido a que se interrumpen fácilmente, gracias a la producción obligatoria de hidrógeno en el consumo de los ácidos grasos inhibiéndose constantemente (41).

1.9.4 Metanogénesis

Es la última etapa de la digestión y la más importante para la generación de biogás, consiste en que los compuestos que se produjo en la anterior etapa (el ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono) serán transformados en lo esencial que requiere en este proyecto, el metano y el biol. Durante este proceso se elimina con totalidad y eficiencia los productos casi finales, como el hidrógeno, el dióxido de carbono y uno que otro compuesto orgánico pequeño (18).

Durante esta fase se produce la mayor cantidad de "biogás", casi el 90% de todo el metano se produce durante esta fase y durará hasta que todo el oxígeno disuelto sea consumido, debido a este es recomendado que se utilice cualquier biomasa con una gran cantidad de humedad dentro de él, como, residuos agroindustriales (42).

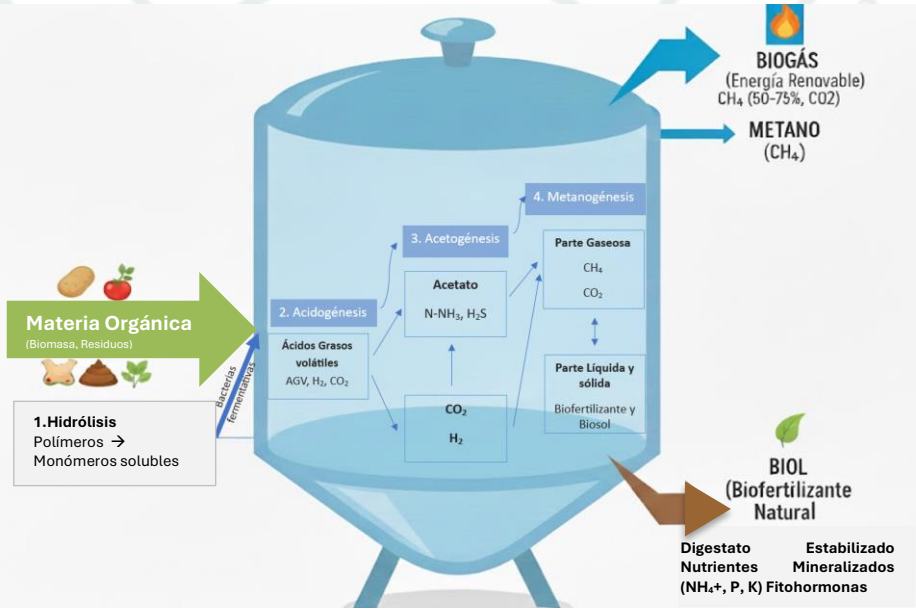

Figura 1. Proceso de digestión Anaerobia para la creación de biol y biogás.

1.10 Características del biogás

El principal fruto que se obtendrá después de concluir todos los procesos o etapas de la digestión anaerobia será la producción de biogás el cual este compuesto por 50 a 70% de metano (CH_4) y 30% hasta a veces 50% de dióxido de carbono (CO_2). Contiene trazas menores de la cuarta parte del total de otros gases, todo dependiendo de la composición de la materia principal que se haya utilizado durante el proceso de fermentación. Toda esta producción se puede dar en un aproximado de 40 días, para que el metano puede llegar a conseguir una estabilización y generar estos promedios, también es bueno resaltar que la temperatura requerida para esto, está en los rangos psicrófilicos y mesofílicos (40).

La cantidad de gas producido es totalmente variable, debido a que todo proceso puede contener diferentes materias primas, sin embargo, oscilan entre unos 350 L/kg de sólidos con 70% de metano (42) .

A continuación, dentro de la Tabla 1 se compara la información entre dos autores y sus porcentajes de biogás obtenido.

Tabla 1. Comparación de porcentajes del biogás entre dos Autores- Burbano y Avalos

Compuestos	Fórmula Química	Porcentajes según Avalos (43)	Porcentajes según Burbano (44)
Metano	CH_4	50 a 80	55 a 80
Oxidano (Agua)	H_2O	Saturado	Variable
Hidrógeno	H	0 a 2	0 a 10
Nitrógeno	N	0 a 1	0.5 a 10
Monóxido de Carbono	CO	0 a 1	0 a 0.1
Oxígeno	O	0 a 1	0.1 a 1
Ácido sulfhídrico	H_2S	100 a 700 ppm	1 a 5
Amoniaco	NH_3	Trazas	Trazas
Compuestos orgánicos	---	Trazas	Trazas
Dióxido de Carbono	CO_2	20 a 50	20 a 45

* Elaboración propia a partir de los datos reportados por Avalos (43) y Cendales (44)

1.11 Factores que inhiben la Producción de biogás y biol

Para que la producción de biogás y biol mediante la digestión anaerobia de residuos agroindustriales hay que tener en cuenta que está sujeto a diversos y numerosos factores que tienen la capacidad de inhibir de manera muy significativa el proceso, afectando el producto final de la fermentación. Los factores que pueden ser inhibidores, pueden ser clasificados en cuatro categorías principales: fisicoquímicos, biológicos, características que estén relacionadas con el sustrato y por último operacionales. Al comprender estos elementos es fundamental para poder optimizar nuestros sistemas de biodigestión, en especial cuando van a ser utilizados con residuos de papa y tomate, residuos bastante comunes dentro de la región Arequipa (45) (46).

1.11.1 Características inhibitorias físico-químicas

Uno de los parámetros físico-químicos determinantes en la digestión anaerobia es el potencial de hidrógeno (pH). Para garantizar una actividad microbiana eficiente, este debe mantenerse en un rango óptimo de 6.5 a 8. Valores de pH inferiores a 6 indican una acumulación excesiva de ácidos grasos volátiles (AGV), lo cual genera la inhibición de las arqueas metanogénicas. Por el contrario, valores superiores a 8 favorecen la formación de altas concentraciones de amoníaco libre (NH_3); si bien este compuesto es una fuente de nitrógeno que podría beneficiar el desarrollo agronómico de los cultivos, concentraciones superiores a 150 mg/L resultan tóxicas para el consorcio microbiano, reduciendo la producción de metano y alterando la composición del biogás (47). Por último, la temperatura es también importante, debido a que las bacterias anaerobias producen mejor en rangos mesofílicos de 35 a 37 °C o en temperatura termófilas entre 50 a 55 °C. Si es que las temperaturas son muy bajas, llegando a los 10 a 15 °C es donde la actividad microbiana disminuye altamente se reduce la eficiencia del sistema y aumentando el tiempo de retención hidráulica (48).

1.11.2 Características inhibitorias biológicas

Los factores biológicos que pueden inhibir la producción están correlacionados más a los compuestos tóxicos o algún tipo de desequilibrio dentro de la población microbiana. Algunos sulfatos que pueden estar dentro de los residuos agrícolas y el estiércol, tienen la capacidad de convertirse en sulfuro de hidrógeno, debido a la fermentación causada por las bacterias sulfato-reductoras. y este químico

compite con las bacterias metanogénicas por los sustratos de hidrógeno. Otros compuestos que pueden llegar a ser problemáticos son los fenoles y taninos, que pueden estar dentro de los residuos lignocelulósicos, como los tallos de papa, pueden bloquear la actividad enzimática. También cabe resaltar que debido a la falta de un inóculo microbiano adaptado puede retrasar mucho el inicio de la fermentación, en especial cuando es referido a los biodigestores tipo batch donde no hay una comunidad microbiana establecida (49).

1.11.3 Características inhibitorias Operaciones

Los factores operativos incluyen, principalmente, la relación carbono-nitrógeno (C/N) del sustrato. Una relación C/N elevada puede limitar la actividad microbiana por escasez de nitrógeno, mientras que una relación C/N demasiado baja conlleva a una acumulación de nitrógeno amoniacal que, al elevar el pH, resulta inhibitoria para el proceso. En el contexto de los biodigestores artesanales, la ausencia de una agitación homogénea propicia la formación de zonas muertas o de estancamiento, donde la degradación del sustrato es incompleta. Por el contrario, una agitación excesiva puede alterar la estructura del consorcio microbiano, afectando la transferencia de metabolitos entre las bacterias acidogénicas y las arqueas metanogénicas (50).

1.11.4 Características inhibitorias intrínsecas

La papa y el tomate presentan sus propios desafíos, por un lado, la papa tiene niveles altos de almidón que tiene la capacidad de hidrolizar bastante rápido, causando que sea más ácido el ambiente del reactor. Los residuos como las hojas y los tallos, tienen un alto contenido de lignina donde requieren el pretratamiento adecuado que es la trituración mecánica para que se pueda revelar la celulosa y la hemicelulosa a las enzimas. Además, hay que tener cuidado en la adición de muchas hojas, debido a que los aceites esenciales dentro de las hojas pueden actuar como biocidas naturales si es que se encuentra a concentraciones elevadas. Por último, se tiene que tener un buen almacenamiento o utilizar el material fresco, porque los residuos pueden perder mucha materia orgánica por la descomposición (51).

Cabe resaltar que la inhibición se puede dar por factores externos, como la presencia de metales pesados, sea de plomo o cadmio, que pueden estar presentes

en aguas residuales o en pesticidas, que puede ser comunes en las zonas agrícolas de Majes, y también si se utiliza algún tipo de fertilizante industriales, estos presentan antibióticos o desinfectantes que puede eliminar los grupos microbianos (52).

1.12 Factores que pueden inhibir la producción de metano.

La producción de biogás, como subproducto de la fermentación anaerobia dirigida a la obtención de biol (biofertilizante), es un proceso microbiológico complejo que requiere un equilibrio dinámico entre diversos grupos de microorganismos. La inhibición de la metanogénesis, la etapa final donde se genera el metano (CH_4), es un fenómeno frecuente que puede deberse a una constelación de factores interrelacionados. Estos factores alteran la homeostasis del consorcio microbiano, desplazando las condiciones óptimas para las arqueas metanogénicas, que son microorganismos notablemente sensibles a cambios ambientales y a la presencia de compuestos tóxicos.

Uno de los inhibidores más comunes es la acumulación de ácidos grasos volátiles (AGV), como el ácido acético, propiónico y butírico. En un sistema equilibrado, estos ácidos son el sustrato principal para las metanógenas acetotróficas y hidrogenotróficas. Sin embargo, cuando la tasa de acidogénesis (producción de ácidos) supera la capacidad de asimilación de las metanógenas, se produce una acidificación del medio. Un descenso del pH por debajo de 6,5 puede inhibir severamente a la mayoría de las metanógenas, que operan de manera óptima en un rango de pH neutro (6,8-7,5), llevando a un círculo vicioso de acidificación donde la propia acidez suprime a los microorganismos que podrían revertir. Relacionado directamente con lo anterior, se encuentra la sobrecarga orgánica o la alta tasa de carga del sustrato (53).

La adición excesiva de material fresco, rico en carbohidratos fácilmente fermentables, puede provocar una acidificación rápida y masiva, desestabilizando el proceso antes de que las metanógenas puedan recuperarse. La presencia de compuestos inhibidores específicos en la materia prima es otro factor crítico. Por ejemplo, el nitrógeno amoniacal (NH_3/NH_4^+), derivado de la descomposición de proteínas, es un nutriente esencial en bajas concentraciones, pero se vuelve tóxico para las arqueas metanogénicas en niveles elevados, típicamente por encima de 2000-3000 mg/L de nitrógeno amoniacal (54).

La forma no ionizada (NH_3), cuya proporción aumenta con el pH y la temperatura, es particularmente tóxica porque puede difundirse pasivamente a través de las membranas

celulares, causando desequilibrio iónico intracelular y disfunción enzimática. Otros inhibidores comunes incluyen los iones de metales pesados (como el cobre, zinc, níquel o cromo), que en concentraciones elevadas pueden precipitar enzimas esenciales y cofactores; los sulfatos (SO_4^{2-}), que son reducidos por bacterias reductoras de sulfato, un grupo competitivo que compite con las metanógenas por sustratos como el hidrógeno y el acetato, produciendo ácido sulfhídrico (H_2S) en lugar de metano; y una amplia gama de compuestos orgánicos tóxicos como alcoholes de cadena larga, fenoles, formaldehído y algunos antibióticos o desinfectantes que pueden estar presentes en los residuos (55) (56).

La temperatura es un parámetro físico crucial, ya que las comunidades metanogénicas están adaptadas a rangos específicos: mesófilo (30-40°C) o termófilo (50-60°C). Las fluctuaciones bruscas de temperatura, especialmente los descensos, ralentizan drásticamente el metabolismo de las metanógenas, haciendo que la producción de ácidos las supere fácilmente y conduzca a la acidificación. Finalmente, la falta de micronutrientes esenciales como el hierro, níquel, cobalto, molibdeno y selenio, que actúan como cofactores en las enzimas metanogénicas clave (como la coenzima M y el factor F430), puede limitar severamente la actividad metabólica de estas arqueas, incluso si todas las demás condiciones son aparentemente favorables. En resumen, la inhibición de la producción de metano en un biodigestor es el resultado de una perturbación en la sinergia microbiana, ya sea por desbalance nutricional, acumulación de productos intermedios tóxicos, presencia de inhibidores externos o condiciones físico-químicas desfavorables, lo que subraya la necesidad de un control y monitoreo cuidadosos para mantener un proceso estable y eficiente (48).

1.13 Efectividad del biol en las Etapas Fenológicas de Cultivos de Majes y su Contribución a los Requerimientos Energéticos.

El fertilizante líquido, biol, que se obtiene de la fermentación de los residuos agroindustriales de Majes, presenta un gran potencial para mejorar el crecimiento de los cultivos de Majes, como la quinua y el tomate, la eficacia de un biol puede variar bastante según la composición nutricional que tenga, por la relación de NPK o la presencia de fitohormonas y los microorganismos presentes. Además, la forma en que se aplica el biol también puede variar, sea foliar o en el suelo.

Dentro del crecimiento de la planta existen etapas claves donde el biol puede ser mucho más efectivo, estas están divididas en:

1.13.1 Germinación

La principal etapa dentro del crecimiento vegetal, es el de la germinación es de las etapas más relevantes dentro del ciclo de vida de las plantas, debido de que de ella depende como es que se establecerá el cultivo. El biol es un promovedor natural de este proceso de germinación, debido a su composición bioactiva, que incluye muchas fitohormonas como las auxinas y las giberelinas, las cuales ayudan mucho en la división celular y en la elongación del embrión, Además de que los microorganismos dentro del biol, las que son solubilizadoras de fósforo y hongos micorrízicos, aumente la disponibilidad de nutrientes esenciales en el suelo, facilitando la absorción que necesitan las semillas durante su desarrollo (57).

La aplicación de biol en la etapa de pre siembra puede ayudar mucho en el aumento de la tasa de germinación, reduciendo también el tiempo de emergencia de las plántulas y fortalece mucho su vigor inicial. El biol ayuda mucho a que los compuestos orgánicos retengan la humedad en el sustrato, creando el ambiente recomendable para la activación metabólica de las semillas. Por último, la presencia de azúcares simples y la presencia de aminoácidos proporcionan una fuente inmediata de energía para los procesos orgánicos que involucran el crecimiento de la radícula (58).

1.13.2 Crecimiento vegetativo

Después de la etapa de germinación, el cultivo tendrá que entrar en la fase de crecimiento vegetativo, donde tendrá que desarrollar las hojas, tallos y raíces que serán la parte fundamental para su productividad siguiente. El biol sí puede contribuir dentro de este proceso al funcionar como un bioestimulante que puede optimizar la fotosíntesis y la síntesis de biomoléculas estructurales. Los nutrientes principales como nitrógeno, fósforo y potasio se encuentran siempre presentes de forma asimilable en el biol y pueden ser incorporados rápidamente por las plantas donde promoverá la formación de clorofila y el alargamiento celular. La aplicación foliar de biol muestra efectos positivos, ya que los compuestos mencionados anteriormente son absorbidos por las estomas, proporcionando un

aporte rápido de energía y activando mecanismo de defensa contra estrés abiótico (59).

1.13.3 Floración y fructificación

Una de las etapas más complejas en la etapa de crecimiento vegetativo es la transición a la floración y fructificación, un proceso fisiológico complejo que demanda niveles de energía altos y nutrientes específicos. El biol también tiene un papel positivo en esta fase, debido a que, sí puede proveer los elementos necesarios para la diferenciación floral, la polinización y el llenado de frutos. Debido a la disponibilidad de fósforo y potasio, junto con micronutrientes como el zinc, ayuda y favorece la formación de flores viables y mejora la eficiencia reproductiva de los cultivos.

La efectividad del biol en las etapas fenológicas dependerá mucho de su capacidad para integrarse a los procesos de crecimiento naturales de las plantas, donde tendrán que aportar nutrientes, reguladores de crecimiento y microorganismos. Desde la germinación hasta la fructificación, el biol ayuda bastante como un catalizador del desarrollo vegetal, reduciendo mucho la necesidad de insumos sintéticos y favoreciendo la sostenibilidad de los agroecosistemas (60) (59).

1.14 Uso de Residuos y su Optimización

Se busca una manera de optimizar, reutilizar, aprovechar todos los residuos y/o sustratos que permitan la formación de algún producto o subproducto que beneficie a la humanidad, en nuestro caso, la formación de biometano y biofertilizante en cantidad, todo mediante un foco amigable para el campesino y un manejo racional y eficiente para los científicos, con parámetro y factores eficientes que puedan ser medidos (7) (17).

Por eso existe una amplia variedad de sustratos sólidos con potencial para la producción de biogás, por ejemplo, nuestros residuos agrícolas como el estiércol, residuos de tomate y papa.

1.15 Tomate

La hortaliza de tomate es un cultivo de gran importancia a nivel mundial, económicamente y alimentaria, su producción mundial según la FAO (2019) para el año 2019 fue un total de 180.766 millones de toneladas, donde China fue unos de los principales productores de tomate, seguidos por la India, Turquía y Estados unidos (60).

Dentro del Perú las ventajas del cultivo del tomate radican en que su cultivo puede ser cultivado durante todo el año, pero los cambios en las zonas agroecológicas pueden alterar la calidad del producto como su cosecha, según los documentos proporcionados por el SENAMHI y la Gerencia Regional de Agricultura, sobre rendimiento agrícola de diversos años, los departamentos que pueden producir tomate son La Libertad, Áncash, Lambayeque, Lima, Moquegua, Piura, Tumbes y Arequipa; pero el de nuestro interés de investigación son del Departamento de Arequipa en los valles de Majes (61) (34) (2).

Sus orígenes son comprendidos dentro de nuestra región montañosa y alargada de los Andes donde abarca Ecuador, Perú y Chile y desde ahí fue trasladado hasta la zona mesoamericana donde se logró su domesticación, donde fue descubierta en la invasión española y luego su distribución fue dada a todo el mundo (62).

Actualmente el verdadero origen del tomate y de donde originalmente proviene o donde fue inicialmente cultivado varía y se presentan diferentes hipótesis al respecto, pero aun si ninguna de las evidencias sea concluyente, en la actualidad se ha logrado desarrollar numerosos cultivos de tomates con alto rendimiento y firmeza, con la capacidad de resistir enfermedades o plagas. Por ende, es de suma importancia que este fruto sea un material bastante importante para la producción de biogás, debido a su alta producción (63).

1.15.1 Taxonomía de Tomate

Reino: *Plantae*

División: *Tracheophyta*

Subdivisión: *Spermatophytina*

Clase: *Magnoliopsida*

Orden: *Solanales*

Familia: *Solanáceas*

Género: *Solanum L.*

Especie: *Solanum lycopersicum L.*, 2014*

Nombre común: Tomate.

* Fuente: Esta clasificación está de acuerdo con el Integrated Taxonomic Information System of North América (ITIS) (64).

1.16 Papa

La papa es fundamental en el sistema alimentario mundial, al ser unos de los productos más producidos e importantes alrededor de todo el mundo y naturalmente es consumida por miles de millones de personas en todo el planeta tierra.

El Perú es uno de los mayores productores de papa, ocupando el puesto uno en el ranking mundial y asimismo es extremadamente importante dentro de nuestra cultura culinaria. A pesar de eso, el desarrollo dentro de la agroindustria sobre el manejo de desechos no se encuentra dentro de nuestros mejores logros, a comparación de otros países que han mejorado de manera más eficiente el aprovechamiento de los residuos, como del mismo fruto, mediante avanzadas tecnologías. Esto nos da bastantes oportunidades e ideas para nosotros en la reutilización de desechos. (65).

Según la FAO la producción de papa a nivel mundial llegó a 381,7 millones de toneladas en el 2014, con una alta concentración en la China continental, que aportó la cuarta parte y otros cuatro países más como, India, Federación Rusa, Ucrania y Estados Unidos; de manera que más de la mitad de la producción mundial es suministrada por los cinco países mencionado (66).

4.16.1. Taxonomía de Papa

Reino: *Plantae*

División: *Tracheophyta*

Subdivisión: *Spermatophytina*

Clase: *Magnoliopsida*

Orden: *Solanales*

Familia: *Solanáceas*

Género: *Solanum*

Especie: *Solanum tuberosum L.,* 2024*

Nombre común: Papa Andina

* Fuente: Esta clasificación está de acuerdo con el Bioversity International. EURISCO, The European Genetic Resources Search Catalogue. Occurrence dataset (67).

1.17 Selección de los Cultivos de Estudio: Papa y Tomate en la Provincia de Caylloma

Para el presente estudio de investigación, se seleccionaron como objetos de análisis los cultivos de papa (*Solanum tuberosum*) y tomate (*Solanum lycopersicum*) en la provincia de Caylloma. La elección de estos productos específicos se fundamenta en su doble condición de ser pilares fundamentales de la seguridad alimentaria y económica de la agricultura familiar en la región altoandina, y al mismo tiempo, generar un subproducto de significativo interés para la valorización de residuos agroindustriales. Tanto la papa, cultivo emblemático y ancestral de los Andes peruanos, como el tomate, una hortaliza de alta demanda en el mercado interno, representan actividades agrícolas de gran relevancia en Caylloma, requiriendo un manejo agronómico intensivo que conlleva a la generación de una considerable biomasa residual post cosecha (68) (69) (70).

La información oficial proporcionada por el Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI), correspondiente al periodo de agosto del 2024 a junio del 2025, confirma la preeminencia de estos cultivos. Los datos evidencian una superficie cosechada sostenida y una producción considerable para ambos productos a lo largo del año agrícola, lo que garantiza una disponibilidad constante de materia prima y, por ende, de los residuos derivados de su cultivo (34).

Tras un análisis exhaustivo de los datos agroeconómicos, que incluían variables como precio en chacra, superficie sembrada y cosechada, rendimiento y producción total, se decidió focalizar en el cultivo de la papa. Esta decisión se basó en su mayor extensión de cultivo, su estabilidad productiva a lo largo de los meses reportados y su centralidad en la economía agrícola Caylloma, lo que maximiza el impacto potencial de cualquier tecnología aplicable a su cadena de valor. No obstante, el estudio del tomate se mantiene como un referente comparativo valioso, dada su estructura de rendimiento y tipo de residuo generado (71).

1.18 Conceptualización de Rendimiento y Producción Agrícola

En el ámbito de la agronomía y su economía, dos métricas son fundamentales para evaluar la eficiencia y el desempeño de un cultivo: el rendimiento y la producción total.

El rendimiento, expresado en kilogramos por hectárea (kg/ha), es un indicador de eficiencia técnica que mide la productividad de la tierra. Cuantifica la cantidad de

producto cosechado (por ejemplo, tubérculos de papa o frutos de tomate) obtenido de una unidad de superficie (una hectárea). Un alto rendimiento es indicativo de la efectividad en la gestión de los factores de producción, como la calidad de la semilla, la fertilización, el manejo fitosanitario, la disponibilidad hídrica y las prácticas culturales empleadas por el agricultor (72) (73).

Por lo tanto, es un parámetro crucial para diagnosticar el nivel tecnológico de una región y para identificar brechas de productividad que puedan ser subsanadas. Los datos del MIDAGRI muestran rendimientos variables para ambos cultivos, los cuales están sujetos a factores climáticos, plagas y el manejo específico en cada campaña (74).

La producción total, por su parte, se expresa en toneladas métricas (t) y representa el volumen absoluto del cultivo obtenido en un área determinada y en un periodo específico. Este indicador es el resultado de multiplicar el rendimiento (kg/ha) por la superficie cosechada (ha). Mientras que el rendimiento habla de la intensidad productiva, la producción total habla de la escala. Es el dato esencial para la planificación alimentaria regional y nacional, el abastecimiento de mercados, la fijación de precios y el diseño de políticas agropecuarias. Una producción elevada y estable es sinónimo de seguridad alimentaria y de una robusta capacidad de generación de ingresos para las familias agricultoras (75) (73).

1.19 Importancia de los residuos para la Generación de biol y biogás

La papa como producto principal para la generación de biol (biofertilizante líquido) y biogás mediante digestión anaeróbica se sustenta en las características particulares de su cadena de producción. Tras la cosecha de los tubérculos, que constituyen el producto de valor comercial, queda en el campo una cantidad sustancial de biomasa residual compuesta por tallos, hojas y raíces. Tradicionalmente, estos residuos son considerados desechos, siendo quemados o son dejados para ser descompuestos en el lugar o in situ, prácticas que pueden generar emisiones de gases de efecto invernadero o constituir fuentes de inóculo para plagas y enfermedades (76).

Estos residuos lignocelulósicos, esta biomasa, por su composición rica en carbono y nutrientes, constituye un sustrato ideal para procesos de biodegradación anaeróbica, por ende, la fermentación o digestión de esta materia biodegradable permite, por un lado, la producción de biogás (una mezcla de metano y dióxido de carbono) que puede ser utilizado como fuente de energía renovable para cocinar o generar calor, lo que reduce la

dependencia de la leña o combustibles fósiles. Por otro lado, el subproducto que nos resulta, conocido como biol o digestato, es un biofertilizante orgánico líquido de excelente calidad, que es rico en nutrientes asimilables y microorganismos benéficos. Donde este fertilizante puede ser reincorporado o devuelto al suelo para cerrar el ciclo de nutrientes, mejorar la fertilidad de la tierra y reducir la necesidad de insumos químicos externos (19) (77).

La producción de tomate tiene una gran importancia dentro de la sociedad debido a su alto consumo y demanda. A pesar de ello este proceso también genera una cantidad significativa de desechos agroindustriales, como hojas, tallos y otros subproductos que no son utilizados durante la comercialización. Estos residuos representan un desafío ambiental, pero también una oportunidad para su aprovechamiento en la producción de biogás (34) (2) (78).

En diversos estudios sobre la producción de biogás, se ha destacado el potencial energético de los desechos agroindustriales, especialmente aquellos derivados de cultivos como el tomate. Estos residuos, ricos en materia orgánica, son ideales para ser utilizados en procesos de fermentación anaeróbica, lo que permite transformarlos en una fuente de energía renovable.

Precisamente se intenta enfocar en aprovechar estos subproductos (hojas, tallos y otros residuos) para la producción de biogás, contribuyendo así a la sostenibilidad ambiental y al desarrollo de alternativas energéticas en el sector agroindustrial (79).

1.19.1 Caracterización de residuos de papa y tomate

Los residuos de para y tomate que ha sido producido en el Valle de Majes, presentan composiciones ideales para la digestión anaeróbica. Los residuos de la papa, los tallos y las hojas, poseen un alto contenido de lignina y celulosa que hace que sea difícil de degradar, pero con un alto contenido metanogénico (80). Pero, por otro lado, los residuos de tomate, que puede presentar ciertos frutos descartados pequeños, esto hace que tengan un contenido con mayor humedad y con unos compuestos altamente fermentables, pero debido a su alto contenido de nitrógenos puede llevar a la formación peligrosa de amoniaco, inhibiendo la metanogénesis si es que no se maneja adecuadamente (81). En ambos casos es recomendado que se recolecte los desechos de la cosecha para poder así evitar que se conviertan en focos que puedan diseminar plagas o enfermedades (82).

1.20 Pretratamiento de biol a partir de residuos orgánicos de papa y tomate.

Para que los residuos orgánicos puedan ser tratados, el INIA como otras entidades recomiendan siempre seguir un pretratamiento para poder ser convertidos en fertilizante líquido. A continuación, se describe como es la producción del biol en rasgos generales

- Recolección de los residuos vegetales: Los residuos pueden derivar de cualquier material orgánico derivado de plantas, como hojas, ramas, tallos y frutos.
- Trituración o molido: deben ser molidos en pedazos pequeños para que la fermentación sea más eficiente.
- Preparación del inóculo: Se requiere microorganismo para la fermentación de los residuos, estos inóculos pueden ser microorganismos de alta calidad comercial o pueden ser extraídos de la misma naturaleza.
- Fermentación: Se hace una mezcla de los residuos vegetales, el inóculo y agua dentro de un barril y debe de fermentar 2-4 semanas. Con temperatura y sombra adecuada.
- Filtración: Se debe filtrar para eliminar los residuos sólidos y obtener un líquido libre de partículas.
- Aplicación: El biol filtrado debe ser aplicado al suelo o sino a las hojas mediante aspersores y esto debe de ser aplicado de forma regular durante el ciclo de cultivo para obtener mejores resultados (83) (20).

1.21 Beneficios Ambientales

El uso de fertilizantes orgánicos para la agricultura presenta diversos beneficios para la producción de cultivos y el medio ambiente. Principalmente mejora mucho a la fertilidad del suelo debido a que el biol es bastante abundante en nutrientes y microorganismos que son beneficiosos para fertilidad del suelo y da nutrientes que serán más disponibles para las plantas. Además, reduce la contaminación esto al ser, naturalmente, un biofertilizante al ser algo orgánico que no contiene químicos tóxicos ni metales pesados, además que es bastante renovable y segura (84) (19).

1.21.1 Aplicaciones:

Tiene diversas formas de aplicación dentro de los cultivos, tales como:

- Fertilización foliar
- Fertilización por dispersión o en suelo directo

1.22 Rendimiento y Aplicación del biol en la agricultura

El biol es un fertilizante líquido que requiere diluciones para poder ser adecuadas para poder así evitar efectos fitotóxicos o adversos en las plantas como algún bloqueo nutricional. Basándome en el Manual de producción de enmiendas orgánicas del INIA (85) . En teoría se puede realizar la aplicación pueden variar según el método, los cuales son los mencionados anteriormente (foliar o suelo) (86).

1.22.1 Aplicación foliar de biol:

Lo recomendado es que la dilución sea entre 5% a 25%, lo bueno de esta baja concentración es que evita las quemaduras en las hojas y ayuda mucho en la absorción de nutrientes mediante los estamos. La concentración puede variar según el tipo de cultivo, si se encuentra que los cultivos son menos sensibles se sugiere utilizar con la dosis mayor de 1,5% y con el tiempo se aumentará o quitarla en caso de que presente efectos negativos (85).

1.22.2 Aplicación al suelo del biol:

Se requiere utilizar una concentración más elevada, debido a que hay que enriquecer el suelo y también a que llegar a las raíces enterradas que tienen una menor sensibilidad. Según el INIA recomienda utilizar un sistema de riego por goteo que donde se tendrá que hacer diversos cálculos para saber los requerimientos hídricos y de fertilizante que se requieren para cada cultivo. Naturalmente los rangos tienen que ser ajustados de acuerdo mucho a la calidad del biol que se tenga. Uno tiene que ver la antigüedad del biol, su pH, si es posible la carga microbiana y por último las condiciones edafoclimáticas (87).

1.22.3 Rendimiento del biol

El rendimiento del biol dentro de los cultivos puede ser medido en la producción o en mejoras fisiológicas. Pero estos resultados pueden no ser los mismos debido a la composición del biol. Según los estudios respaldados por el INIA se indica que:

- 1 litro de biol sin diluir puede rendir aproximadamente a 20 litros diluidos al 5% y en teoría puede cubrir 50 a 100 m² de cultivo, esto también puede variar dependiendo del método de aspersión

- La aplicación para que el biol rinda debe ser efectuada en la mañana, si es posible antes de las 10:00h o cuando ya sea de tarde posterior a las 15:00h (88).

1.23 Mecanismos de acción del biol.

El biol, un abono líquido de origen orgánico, actúa como un bioestimulante debido a su alta concentración de fitonutrientes y microorganismos benéficos. Mediante un proceso de fermentación anaeróbica, este compuesto mineraliza la materia orgánica, transformándola en macronutrientes asimilables, tales como nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K). Asimismo, el biol promueve una relación simbiótica con la rizósfera, optimizando la capacidad de absorción radicular y fortaleciendo el sistema inmunológico de la planta frente a fitopatólogos y condiciones de estrés biótico

Además de los microorganismos que contiene el biol, también tiene otras sustancias como aminoácidos, enzimas y hormonas de crecimiento (giberelinas y citoquininas), todos estos pueden estimular el crecimiento y mejorar la salud de las plantas. Además, algunos estudios también aconsejan que el biol puede mejorarla estructura del suelo y aumentar por mucho la capacidad que tiene para retener nutrientes y agua.

Por ende, el biol puede mejorar entre un 30% y un 50% mucho el crecimiento de las plantas, además de factores externos como la calidad del suelo, pero tener presente mucho en cuenta el tipo de suelo, el clima y las prácticas agrícolas (89) (20).

1.24 Limitaciones del uso del biol

A pesar de que el biol brinda bastante beneficios como un fertilizante orgánico en la agricultura, existen algunas limitaciones que tiene que ser mencionadas y consideradas. La principal limitación radica en el tiempo requerido para completar el proceso fermentativo y la dependencia de la disponibilidad de residuos orgánicos. Asimismo, se recomienda que la aplicación del biol sea inmediata a su obtención, con el fin de evitar la volatilización de nutrientes y asegurar su máxima eficiencia agronómica.

Otra limitación es que de por si contiene microorganismos patógenos y si la producción no es correcta puede tener consecuencias en la salud de la planta, Por ende, en este proyecto se tendrá buenas prácticas de producción de biol y minimizar siempre el riesgo de contaminación (90).

1.25 Marco normativo e Institucional para el Aprovechamiento de Residuos Agroindustriales en Perú-Arequipa

Dentro del marco legal e institucional que tiene como tarea regular el manejo de residuos agroindustriales y de la implementación de tecnológicas como biodigestores en Perú es bastante amplio, pero dividido en diferentes competencias que están en diferentes sectores. Dentro del nivel nacional, la Ley N° 27314 - Ley General de Residuos Sólidos (y su modificatoria Ley N° 30884). Es que establece las bases para que se puede hacer un manejo integral de los residuos orgánicos, en donde se promueva la valorización sea mediante el compostaje o la digestión anaerobia (91).

A nivel regional, el Gobierno Regional de Arequipa ha emitido ordenanzas para que se dé un interés público para el manejo sostenible de residuos agrícolas, donde se prohíbe la quema de rastrojos, paja o granza que vienen de la actividad agrícola en la región de Arequipa, y por ende también afecta a la región de Caylloma, Majes. Esta es la Ordenanza Regional N° 487-AREQUIPA (92).

CAPÍTULO II

2. METODOLOGÍA

2.1 Lugar de Ejecución

Las evaluaciones o ensayos se llevaron a cabo en las instalaciones de investigación de la Universidad Católica de Santa María (UCSM), específicamente en sus laboratorios situados en los pabellones E-405 y E-406

2.2 Materiales

2.2.1 Materiales biológicos

- Estiércol Vacuno, recolectado de un establo de Majes o del Fundo Husacache de la Universidad Católica de Santa María
- Residuos agrícolas (tallos y hojas) de Papa (*Solanum tuberosum var. Canchan*) y Tomate (*Solanum lycopersicum var. Río Grande)*
- Semillas de Quinua (*Chenopodium quinoa var. Blanca*) y Tomate (*Solanum lycopersicum var. Río Grande*)

2.2.2 Insumos:

- Lactosuero
- Jarabe de Caña de Azúcar (Melaza)
- Agua Destilada

2.2.3 Reactivos Químicos

- Hipoclorito de sodio al 1 %

2.2.4 Materiales de Laboratorio

- Botellas Pirex de 1L de capacidad
- Probetas de Plástico de 500 mL
- Beakers
- Espátula
- Varillas de Vidrio
- Picetas de plástico
- Placas Petri

2.2.5 Equipos

- Baño María
- Balanza Milimétrica

2.2.6 Software

- Microsoft Excel 2019 (Creación de Gráficos)
- Overleaf Latex (Creación de Tablas)
- RStudio

2.2.7 Otros

- Silicona
- Cintillos
- Caja de Tecnopor
- Bolsas Colectoras
- Cautín
- Tanques de 10 L de gasolina
- Cinta Aislante
- Teflón

2.3 Métodos

2.3.1 Determinación del cultivo agrícola con mayor disponibilidad en la región de Caylloma, Majes.

Para la determinación del cultivo agrícola con mayor disponibilidad sobre hectárea de producción, se realizó un análisis bibliográfico para saber cuál de los cultivos era el más producido y asequible para nuestra investigación. Según lo informado por el Gerencia Regional de Agricultura, en sus documentos de siembras y cosechas de la campaña agrícola más reciente y otros años (93). Al realizar una comparativa numérica entre el rendimiento y la producción total de los cultivos de papa y tomate, se puede observar y distinguir el gran potencial de la papa y tomate como cultivos de alta disponibilidad en la Provincia de Caylloma, majes, Arequipa, Esto se puede observar en el Anexo 1. La información obtenida fue procesada mediante el software Microsoft Excel, utilizando una matriz de tabulación para organizar los datos de superficie (ha) y rendimiento (t/ha). Este instrumento permitió realizar una comparativa numérica y estadística descriptiva, mediante la cual se identificó el gran potencial de los residuos de papa y tomate como los sustratos de mayor disponibilidad en la Provincia de Caylloma (34).

2.3.2 Construcción de los biodigestores tipo batch para la producción de biol y biogás

Se construyó 1 tipo de biodigestor tipo batch (6 réplicas) como se puede observar en la Figura 2, de una sola carga con un base de volumen total de 1 L y un espacio utilizable de 800mL, todas estas botellas fueron selladas herméticamente para que todo el biogás sea guiado a las probetas invertidas. Para la recolección y obtención de biogás se realizó, con un cautín, un orificio en la tapa de las botellas y se enlazó una manguera a la bolsa colectora, todo esto se pegó con silicona y cinta aislante (94).

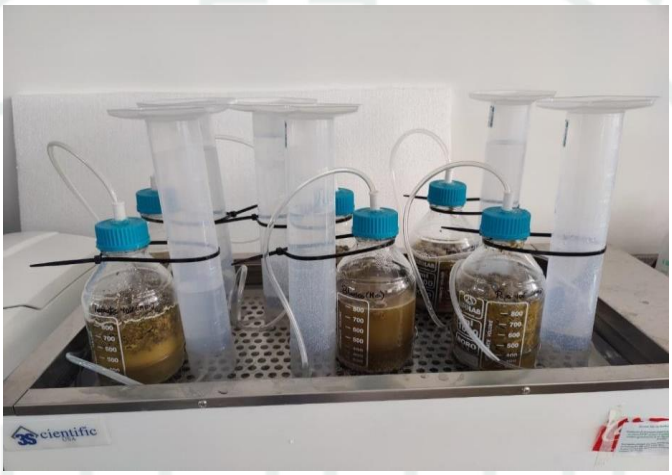

Figura 2. Digestores batch de 1L para la producción de biol y biogás

2.3.3 Análisis composicional de la materia prima

Para establecer una base química que justifique su selección como sustratos en el proceso de digestión anaeróbica y para comprender su contribución potencial al biol resultante, se caracterizaron los componentes principales de las materias primas utilizadas: estiércol vacuno, suero lácteo en polvo y residuos vegetales frescos (tallos, hojas y raíces) de papa (*Solanum tuberosum*) y tomate (*Solanum lycopersicum*). La composición de cada insumo se describe a continuación.

Estiércol vacuno.

El estiércol fresco, procedente de Majes (Arequipa, Perú), fue analizado fisicoquímicamente (Laboratorio LABINVSERV-UNSA, Reporte N° 26404-25, ver en Anexo 4) Se caracterizó por un alto contenido de humedad (84.85%) y una materia seca del 15.15%. En base seca, presentó un elevado contenido de materia

orgánica (86.78%) y carbono (50.34%), con un tenor de nitrógeno total del 2.98%. Los macronutrientes principales, fósforo y potasio, se encontraron en concentraciones de 2019.92 ppm y 9140.68 ppm, respectivamente. La relación Carbono/Nitrógeno (C/N) calculada fue de aproximadamente 17:1, valor que se encuentra cercano al rango óptimo (20-30:1) reportado para una eficiente digestión anaeróbica, ya que provee un balance adecuado para el crecimiento microbiano sin riesgo inmediato de inhibición por amoníaco. Esta composición lo posiciona como un insumo fundamental, aportando tanto un inóculo microbiano consorcio como una fuente equilibrada de nutrientes para el proceso fermentativo (95).

Suero lácteo en polvo (Sweet Whey Powder).

Se empleó suero en polvo de origen industrial (Zemaitijos Pienas, Lituania), con certificado de calidad (Certificado No 24-959-3), ver en el Anexo 5. Este subproducto lácteo se caracterizó por ser una fuente concentrada de carbono fermentable, principalmente en forma de lactosa (75.17 ± 4.51%), y proteínas (12.26 ± 0.16%). Su bajo contenido de grasa (0.83%) y humedad (1.59%), junto con un pH ligeramente ácido (6.29 en solución al 10%), lo convierten en un sustrato de rápida asimilación microbiana. El alto contenido de lactosa justifica su inclusión en la mezcla, destinada a incrementar la carga de carbono soluble y energía disponible para los microorganismos acidogénicos en las etapas iniciales de la digestión, optimizando así la producción de ácidos volátiles (96).

Residuos vegetales de papa.

Los residuos frescos de papa (tallos, hojas y raíces) constituyen una fuente de biomasa lignocelulósica y carbohidratos. Según la literatura, este tipo de residuos presenta un contenido de humedad típicamente alto (entre 75-85% en fresco) y, en base seca, se caracteriza por un significativo contenido de almidón y azúcares solubles (reportado entre 15-25% en tallos y hojas), además de celulosa (20-30%) y hemicelulosa (10-15%). Su relación C/N es típicamente alta (>30:1), debido a un bajo contenido de nitrógeno (1.5-2.5% en base seca). La inclusión de estos residuos en la codigestión busca complementar la relación C/N de la mezcla, aportar carbohidratos de degradación media a rápida, y diversificar el sustrato (97).

Residuos vegetales de tomate.

Según la FAO los tallos, hojas y raíces de tomate descartados postcosecha son materiales lignocelulósicos. Reportes indican que, en base seca, estos residuos contienen principalmente celulosa (20-25%), hemicelulosa (15-20%) y lignina (10-20%), con un contenido proteico bajo (~2-4%) que resulta en una relación C/N muy alta (>40:1). Su función en la mezcla es principalmente la de proporcionar una fuente de carbono estructural (celulosa y hemicelulosa) de liberación más lenta, contribuyendo al balance general de carbono y a la estabilidad del proceso de codigestión a más largo plazo (95).

2.3.4 Producción de biol y biogás.

A continuación, se detalla la cantidad, peso y tamaño de los insumos que se requirieron de acuerdo con el Manual técnico de producción de biofertilizante Líquido del INIA. Así como los procesos utilizados.

El proceso de elaboración del fertilizante orgánico líquido (biol) se llevó a cabo bajo un régimen de fermentación anaerobia, utilizando como sustrato principal residuos lignocelulósicos de tomate (*Solanum lycopersicum*) y papa (*Solanum tuberosum*). El procedimiento se detalló en las siguientes etapas:

En primera instancia, se realizó el acopio y la selección de los residuos vegetales, priorizando la integridad del material. Se procedió a un lavado riguroso con el objetivo de eliminar agentes contaminantes externos y posibles trazas de agroquímicos (pesticidas y herbicidas) que pudieran inhibir la actividad microbiana. Posteriormente, se efectuó una reducción mecánica del tamaño de los residuos hasta alcanzar dimensiones de entre 1 y 3 cm. Este incremento en la relación superficie-volumen tuvo como propósito optimizar la accesibilidad de las enzimas microbianas al sustrato orgánico.

En segundo, la materia prima vegetal fue introducida en un biorreactor a escala de laboratorio, donde se mezcló con suero lácteo en una proporción volumétrica de 1:1. Para potenciar el metabolismo de la microbiota fermentativa, se incorporó melaza (o sacarosa) en una concentración del 10% con respecto al peso de los residuos vegetales. Esta adición proporcionó una fuente de carbono de fácil asimilación, esencial para la fase de adaptación de los microorganismos. Todos

los componentes fueron homogeneizados exhaustivamente para garantizar una distribución uniforme de la carga orgánica y el inóculo.

Una vez cargado el contenedor, se procedió a su sellado hermético para establecer condiciones estrictas de anaerobiosis, dejando un espacio de cabeza o "headspace bioreactor" suficiente para la acumulación de gases. El sistema de recolección de biogás se configuró mediante el método de desplazamiento de fluido, utilizando probetas invertidas sumergidas en un baño María a temperatura controlada, permitiendo la cuantificación volumétrica de las emisiones gaseosas durante el proceso.

El sistema se mantuvo en incubación durante un periodo de 2 a 4 semanas bajo un régimen térmico mesofílico (20-35 °C). Durante esta etapa, se produjo la degradación biológica de los residuos, transformándose en un efluente de coloración marrón oscuro y características organolépticas estables.

Tras completar el tiempo de retención hidráulica, el producto crudo fue sometido a un proceso de separación de fases mediante filtración mecánica (o extrusión en los casos requeridos) para remover la fracción sólida remanente. El biol resultante, de naturaleza líquida y homogénea, fue transferido a recipientes de polietileno de alta densidad, sellados y resguardados en condiciones de oscuridad y frescura. Para prevenir sobrepresiones por generación residual de gases, se integró una probeta invertida para el monitoreo final de la estabilidad del producto (85).

Figura 3. Trituración o proceso de molienda de los residuos vegetales en pequeños fragmentos como etapa previa a la digestión.

Figura 4. Implementación de agujeros para el paso de una manguera para la recolección de gas mediante la técnica de probeta invertida

2.3.4.1 Recolección de gas de los sistemas

Para la medición de la generación de gas dentro de los sistemas de fermentación, se optó por el método estándar de medición de gas, utilizando probetas invertidas colocados en un baño maría, se observaba cada hora el gas producido. Este método permitió cuantificar el volumen de gas producido de una manera relativamente sencilla y bastante efectiva.

2.3.4.2 Preparación de Sistemas:

Aunque el diseño de los biorreactores fue detallado previamente, es pertinente precisar la configuración del sistema de evacuación de gases. Cada unidad de fermentación se equipó con una tubuladura de policloruro de vinilo (PVC) flexible, adaptada herméticamente al cierre del reactor. Dichos conductos fueron obtenidos mediante el desensamble de colectores de drenaje grado médico (bolsas de recolección comerciales), asegurando la integridad del flujo gaseoso desde la cámara de reacción hacia el sistema de medición.

Figura 5. Esquema de los sistemas batch iniciales

2.3.4.3 Medición del Gas:

La cuantificación del gas generado durante el proceso metabólico se realizó mediante el método de desplazamiento de fluido en fase líquida. El biogás producido fluyó a través de la tubuladura hacia una probeta graduada invertida previamente saturada con agua. El volumen de gas se determinó por la diferencia de nivel en la columna de agua (desplazamiento volumétrico), realizando lecturas directas en la escala milimetrada de la probeta (mL).

2.3.4.4 Reemplazo del Agua:

Ante el vaciado inminente de la probeta debido a la tasa de producción de gas, se procedió al reabastecimiento del volumen hídrico. Esta operación se ejecutó con celeridad para garantizar la continuidad del sello hidráulico, evitando la intrusión de aire atmosférico y la pérdida de la presión parcial del biogás en el sistema. Este procedimiento fue crítico para minimizar el error experimental y asegurar la precisión en las mediciones acumuladas.

2.3.4.5 Tiempos muertos

Se identificaron periodos de latencia en la toma de datos, correspondientes a lapsos de aproximadamente 10 horas durante el horario nocturno. Para mitigar la pérdida de información, se realizó una saturación total de la probeta antes

del cierre de jornada. Para el análisis posterior, se asumió una tasa de producción de gas constante (estacionaria) durante estos intervalos, permitiendo la extrapolación de los valores acumulados al reanudar el monitoreo presencial.

2.3.4.6 Registro de los Datos:

El monitoreo de la producción gaseosa se realizó con una frecuencia de muestreo horaria, permitiendo determinar la producción máxima diaria. El experimento se extendió por un periodo de 120 horas (5 días), registrando sistemáticamente el comportamiento de los tres tratamientos: sustrato de papa (*Solanum tuberosum*), tomate (*Solanum lycopersicum*) y el grupo control. Los datos primarios fueron tabulados para su posterior análisis estadístico y caracterización de la cinética fermentativa.

Figura 6. Probetas vacías tras el desplazamiento de agua por la generación de gas de los reactores tipo batch de 1L

2.3.5 Caracterización fisicoquímica y microbiológica del biol

Para la determinación de las propiedades del biol obtenido, se procedió a la toma de una alícuota de 80 mL, la cual fue dispuesta en un envase de vidrio neutro para su posterior traslado al Laboratorio de Control de Calidad de la Universidad Católica de Santa María (Pabellón H, 3er piso).

El análisis se centró en el tratamiento que exhibió el mayor rendimiento en la producción de biogás, aplicando los protocolos y métodos analíticos

estandarizados por dicha institución (98). Los parámetros evaluados, que comprenden tanto la caracterización química como la carga microbiológica, se presentan detalladamente en la Tabla 2 y la Tabla 3.

Una vez finalizado el TRH, se procedió a la separación de la fracción líquida (biofertilizante) de la fase sólida o lodos sedimentados. Para la recuperación del efluente y la eliminación de sólidos suspendidos, se realizó una filtración mecánica por gravedad empleando una interfase de celulosa absorbente de porosidad abierta (equivalente a un soporte de fibra de celulosa simplificado).

Este método de clarificación asegura la reducción de la turbidez y la remoción de partículas macroscópicas, siguiendo los criterios metodológicos establecidos en la literatura técnica para la producción de fertilizantes líquidos a partir de la fracción orgánica de los residuos sólidos (99).

Tabla 2. Métodos de análisis fisicoquímico para el biol de papa del batch de un 1L

Análisis	**Unidades**	**Método**
Determinación de Nitrógeno Total	%	Bremmer and JM Mulvaney 1982 Nitrogen Total Kjeldahl
Determinación de fósforo	mg/L	Método plasma de acoplamiento inductivo (ICP) con OES
Determinación de potasio	mg/L	Método plasma de acoplamiento inductivo (ICP) con OES
Determinación de calcio	mg/L	Método plasma de acoplamiento inductivo (ICP) con OES
Determinación de pH	Unidades de pH 20 °C	Método instrumental directo
Determinación de Materia Orgánica	Carbono	Método Gravímetro

*Tabla creada a partir de los métodos de análisis utilizados por el Laboratorio de Análisis de la Universidad Católica de Santa María (98) (100).

Tabla 3. Metodología para el análisis de biol de papa del batch de 1L

Análisis	Unidades	Método
Numeración de E.Coli	NMP/100 mL a 44,5 °C	Métodos Normalizados para el análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF, 9221 Método C pag 9-87

*****Tabla creada a partir de los métodos de análisis utilizados por el Laboratorio de Análisis de la Universidad Católica de Santa María (98) (100).

2.3.6 Pruebas de germinación con semillas de tomate y quinoa

Para garantizar la viabilidad del ensayo y prevenir la interferencia microbiana, se procedió con la higienización superficial de los insumos. Las unidades experimentales (semillas) se sometieron a una inmersión en una solución de hipoclorito de sodio (NaClO) durante 10 minutos para su desinfección. Posteriormente, se realizaron lavados sucesivos con agua destilada estéril con el fin de remover trazas residuales del agente oxidante. Paralelamente, las placas Petri fueron desinfectadas mediante frotado con etanol al 70% (v/v) en condiciones de asepsia dentro de una cabina de flujo laminar.

El sustrato consistió en papel absorbente estéril, dimensionado de acuerdo al diámetro de las placas y saturado con las soluciones de tratamiento. La disposición de las semillas se realizó mediante el uso de pinzas metálicas previamente esterilizadas por flameado y jeringas estériles para la dosificación del medio.

Se distribuyeron las semillas de forma equidistante en una configuración de filas de cinco unidades. Se evaluaron dos especies de interés agrícola: tomate (*Solanum lycopersicum*) y quinua (*Chenopodium quinoa*). Por cada tratamiento, se utilizaron 20 semillas con dos repeticiones. Las placas fueron rotuladas y almacenadas bajo condiciones controladas de temperatura ambiente por un periodo de incubación de 7 días., como se muestra en la Figura 6 (101).

Posteriormente se colocó el biol en diferentes concentraciones de 50% (biol 50) 25% (biol 25), 15% (biol 15), 5% (biol 5), 3% (biol 3), 1% (biol 1) y por último como control fue el agua potable. Para cada tratamiento se hizo en pares y fueron almacenadas a temperatura ambiente por un total de 7 días.

$$\%germinación = \frac{\#semillas\ germinadas}{\#semillas\ procesadas**} \times 100$$

*Fórmula adaptada (102).

Los tratamientos experimentales consistieron en una gradiente de concentraciones de biol al 50%, 25%, 15%, 5%, 3% y 1% (v/v), empleando agua potable como grupo control de referencia. Para cada nivel de concentración, se utilizaron 20 semillas con dos repeticiones, las cuales fueron almacenadas a temperatura ambiente durante un periodo de siete días. La evaluación de la fitotoxicidad se determinó mediante la proporción de germinación, calculada como el cociente entre el número de semillas germinadas en cada dilución respecto al grupo control. Complementariamente, se cuantificó la longitud de crecimiento para realizar un análisis estadístico comparativo entre las plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum*) y quinua (*Chenopodium quinoa*).

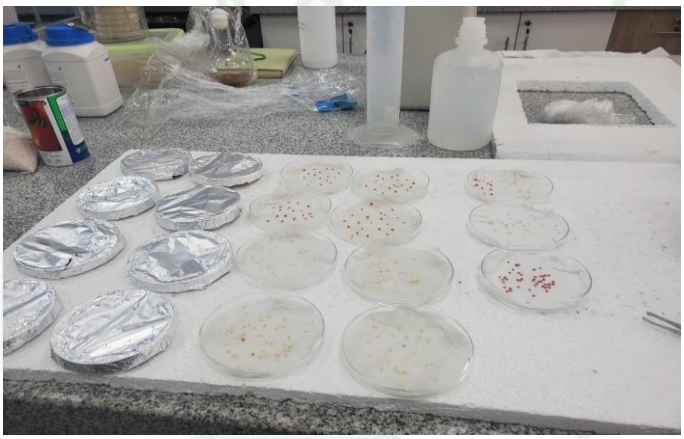

Figura 7. Distribución de semillas en las placas petri para las pruebas de germinación en diferentes concentraciones de biol

2.3.7 Método para la producción de biol, biogás en un tanque de 10L

Para la implementación del sistema de digestión anaerobia, se procedió con la adecuación de un reactor adaptado y la preparación del sustrato, siguiendo los protocolos de bioseguridad y optimización de procesos biotecnológicos detallados a continuación.

Para la sanitización y acondicionamiento del reactor, un tanque de polietileno (previamente destinado al almacenamiento de combustible), fue sometido a un proceso riguroso de limpieza mecánica y química. Se empleó una solución de detergente tensoactivo neutro para la remoción de hidrocarburos residuales y

partículas exógenas. Posteriormente, con el fin de eliminar la microbiota competitiva e interferente, se realizó una desinfección química mediante el empleo de alcohol etílico al 70% (v/v), permitiendo el secado por evaporación en un ambiente controlado.

Se diseñó un sistema de recolección de gases de baja presión adaptando colectores flexibles (bolsas de drenaje de 2 litros) a la válvula de salida del reactor. Para garantizar la estanqueidad del sistema y prevenir fugas de metano (CH_4) o ingresos de oxígeno que pudiesen romper la condición de anaerobiosis, se reforzaron las uniones y acoples neumáticos mediante el uso de polímeros sellantes (silicona industrial) y cintas de alta adherencia.

La biomasa utilizada como sustrato consistió en una mezcla de inóculo bacteriano proveniente de estiércol bovino (referenciado en la Figura 7), residuos lignocelulósicos vegetales y suero lácteo como agente acidogénico y fuente de nutrientes. Los componentes fueron homogeneizados mecánicamente en un recipiente auxiliar hasta obtener una mezcla uniforme. Posteriormente, la mezcla fue transferida al reactor, asegurando un espacio de cabeza (headspace) de entre el 15% y 20% del volumen total del contenedor; este volumen libre se mantuvo para amortiguar las fluctuaciones de presión interna generadas por la acumulación de biogás. Sellado y control de parámetros operativos El cierre hermético del sistema se consolidó mediante la aplicación de politetrafluoroetileno (teflón) en las roscas de la boquilla principal. El proceso de digestión se llevó a cabo bajo un régimen térmico controlado, manteniendo el sistema a una temperatura ambiente constante de 25 °C, con picos térmicos inducidos de hasta 35 °C para optimizar la cinética enzimática de las arqueas metanogénicas.

Se estableció un tiempo de retención hidráulica de 30 a 35 días para garantizar la degradación completa de los sólidos volátiles y la estabilización del efluente. Durante este periodo, se aplicó un protocolo de agitación mecánica manual de frecuencia diaria, con el objetivo de evitar la formación de costras superficiales, facilitar el desprendimiento de las burbujas de gas y mejorar el contacto entre los microorganismos y el sustrato.

2.3.8 Uso de Tanques de 10 Litros en la Producción de biol

Para la producción de biol, se seleccionó un biorreactor de polietileno de alta densidad con una capacidad volumétrica de 10 L, como se ilustra en la Figura 8. La elección de este sistema de escala piloto se fundamentó en criterios de viabilidad económica, manejabilidad y transferencia tecnológica, buscando simular las condiciones operativas reales de los pequeños agricultores del distrito de Majes. Este diseño prioriza el uso de materiales accesibles que faciliten la duplicidad del proceso experimental sin comprometer el rigor técnico.

Debido a que el objetivo central de esta investigación es evaluar la efectividad del biol obtenido a partir de residuos lignocelulósicos y su impacto en las etapas fenológicas de los cultivos, se optó por esta escala de producción como un punto de equilibrio óptimo. Esta configuración permite mitigar las limitaciones presupuestarias mientras se garantizan los requerimientos técnicos esenciales, tales como el mantenimiento de la hermeticidad y la estabilidad de la fermentación anaerobia, asegurando que los parámetros bioquímicos del efluente sean representativos para su posterior aplicación (103).

Figura 8. Tanques batch de 10 L utilizados para la fermentación

La fase inicial de la producción de biol se llevó a cabo bajo condiciones estrictamente controladas a nivel de laboratorio, empleando reactores de vidrio con una capacidad nominal de 1 L y un volumen de operación (volumen útil) de 800 mL. Estos ensayos preliminares se ejecutaron por duplicado con el objetivo de establecer una línea base y asegurar la reproducibilidad de los parámetros bioquímicos iniciales. No obstante, para realizar una transición efectiva hacia una

aplicación agronómica realista en campo, se determinó la necesidad de un escalamiento del proceso que garantizara un volumen de efluente suficiente para las pruebas de aplicación foliar o edáfica, sin incurrir en los elevados costos operativos de una infraestructura industrial (104).

Bajo este enfoque, los biorreactores de 10 L se implementaron como una solución de escala intermedia (escala piloto), situándose entre la experimentación micro y los sistemas semiindustriales, los cuales suelen demandar una logística y recursos financieros significativamente mayores. La selección de estos recipientes de 10 L como unidades principales de fermentación respondió a tres factores críticos:

- La selección de estos contenedores se basó en su reducido costo de adquisición y alta disponibilidad en el mercado local. Su robustez estructural permite múltiples ciclos de reutilización, posicionándolos como una alternativa técnica ideal para modelos de producción agrícola con restricciones presupuestarias.
- A pesar de ser recipientes de propósito general, su morfología permite una adaptación eficiente para la digestión anaerobia. El diseño de la boquilla superior facilita la integración de válvulas de alivio o sistemas de liberación controlada de gases (trampas de agua), garantizando la exclusión de oxígeno molecular y previniendo la contaminación por agentes patógenos externos. Esta modificación es crítica para mantener el potencial redox adecuado y asegurar una fermentación anaerobia metanogénica estable.
- El volumen y la geometría compacta de las unidades de 10 L optimizan el transporte y la manipulación de las muestras. Esta portabilidad resulta esencial para el traslado de los biorreactores desde el área de producción hacia el laboratorio, facilitando el monitoreo constante de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos sin comprometer la integridad de las mezclas en fermentación.

2.3.9 Limitaciones

Según la Guía del INIA para la producción de enmiendas orgánicas se recomienda el uso de tanques más grandes (ej. 150 L), esta investigación decidió optar por

reducir la escala a 10 L debido a las restricciones presupuestarias, debido a los altos costos de tanques de 150 L no se contaba con los fondos para adquirir tanques de esa gran capacidad o de equipos de agitación mecánica. Debido a su tamaño compacto los tanques de 10 litros permitieron una agitación manual y al trabajar con tres tanques idénticos se garantizó la replicación correctamente (88).

2.3.10 Método Estadístico

2.3.10.1 Selección del ANOVA como Herramienta estadística.

Evaluamos las diferencias significativas en la producción de biogás entre los residuos de tomate (*Solanum lycopersicum*) y papa (*Solanum tuberosum*) se adoptó utilizar el análisis de varianza de un factor, por las siguientes razones:

- Se puede realizar una comparación de medias entre dos grupos independientes: Permite contrastar las medias de dos o más grupos (en este caso tomate y papa) para que, bajo la hipótesis nula no existan diferencias significativas entre ellos.
- Presenta robustez frente a diseños equilibrados: dado que el experimento cuenta con un diseño completamente al azar con réplicas equivalente para cada cultivo, el ANOVA es idea para poder hacer el análisis de la varianza intragrupo e intergrupo sin generar distorsiones por desbalance muestral.
- Eficiencia en el control del error Tipo 1: El ANOVA evalúa globalmente las diferencias y a diferencias de realizar múltiples pruebas “t” independientes (105).

Se tuvo que comprobar la normalidad de los residuos viendo si es que seguían una distribución normal ($p > 0.05$)

También se observó la independencia de las observaciones, las muestras de biogás fueron medidas en tanques distintos o en unidades experimentales independientes. Sin correlación temporal o espacial.

Y por último se tuvo que observar la homocedasticidad o la igualdad de la varianza entre los dos grupos fueran homogéneos.

Los datos corresponden a mediciones de producción acumulada de gas (en mL) registradas durante cinco días consecutivos para cada sistema,

considerando dos réplicas por tratamiento. A partir de los valores experimentales, se calcularon los promedios diarios de cada sistema con el fin de obtener una representación más estable de la tendencia de generación gaseosa.

El ANOVA se aplicó bajo la hipótesis nula (H_0) donde si no haber diferencias significativas entre los tratamientos de biogás, frente a la hipótesis alternativa (H_1) que establece que al menos uno de los sistemas presenta una producción de biogás significativamente distinta. Si los resultados mostraron diferencias marcadas entre los grupos, con un valor de p menor a 0.05, nos permitiría rechazar la hipótesis nula y confirmar que el tipo de sustrato influye de manera significativa en la generación de gas. En caso contrario no habría diferencia significativa.

2.3.10.2 Selección de la prueba estadística: Kruskal-Wallis

Con el objetivo de determinar si existieron diferencias significativas en el porcentaje de germinación y el crecimiento de las plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum L.*) y quinua (*Chenopodium quinoa.*) Bajo la aplicación de biol, se evaluó previamente la naturaleza de los datos obtenidos en los ensayos experimentales.

El análisis reveló que los datos recopilados del crecimiento y de la germinación no seguían una distribución normal, de acuerdo con las pruebas de Shapiro Wilk ($p < 0.05$). Además, las varianzas entre tratamientos no resultaron homogéneas según la prueba de **Levene**, lo que impidió el uso de pruebas paramétricas como el ANOVA de una vía (106).

Por esta razón, se seleccionó la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis, la cual permite comparar más de dos grupos independientes sin asumir normalidad, ni homogeneidad de varianzas. Este método es apropiado para evaluar diferencias en la mediana de los rangos de las variables de interés entre los distintos tratamientos.

En este estudio, la prueba de Kruskal Wallis se aplicó para las siguientes variables:

- **Porcentaje de germinación (%):** calculado a partir del número de semillas germinadas en relación con el total sembrado en cada tratamiento.
- **Altura promedio de plántulas (cm):** medida periódicamente hasta el final del ensayo.

El uso de esta herramienta permitió identificar diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ($p < 0.05$), evidenciando el efecto del biol sobre la germinación y el crecimiento inicial de las semillas.

Posteriormente, si se detectaron diferencias significativas, se aplicó la **prueba post hoc de Dunn** con corrección de Bonferroni, con el fin de determinar entre qué tratamientos se presentaron dichas diferencias (107).

De esta forma, la selección de la prueba de Kruskal–Wallis garantiza un análisis robusto y adecuado a la naturaleza no paramétrica de los datos, permitiendo evaluar de manera confiable la **efectividad del biol** sobre las variables fisiológicas estudiadas.

Los análisis que se realizaron fueron con un nivel de significancia de $\alpha=0.05$ y $\alpha=0.05$ utilizando el software RStudio (versión 4.3.2) (108).

2.3.11 Análisis Post-Hoc: Comparaciones Individuales

Si dentro del análisis ANOVA se logra detectar alguna diferencia significativa ($p < 0,05$), se procedió posteriormente a realizar un análisis post hoc para poder identificar entre los grupos que diferencias específicas radicaban. Se seleccionó la prueba post hoc Tukey HSD por el control del error familiar que nos ayudará a ajustar el nivel de significancia para comparaciones múltiples, reduciendo el riesgo de falsos positivos. También está la adecuación para diseños equilibrados que es óptima cuando los tamaños muestrales son iguales entre grupos (como en este estudio). Y por último está la interpretabilidad proporciona intervalos de confianza para las diferencias entre medias, facilitando la visualización de las discrepancias (109).

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS

3.1 Resultados del biol

El proceso de fermentación anaerobia en los biorreactores de 1 L resultó en la obtención de un fertilizante líquido con propiedades organolépticas estables, caracterizado por una coloración marrón oscura y un aroma agridulce persistente vinculado a la actividad metabólica de levaduras y bacterias fermentativas, como se muestra en la Figura 9. El volumen neto recuperado tras la estabilización fue de 600 mL, cuya composición química detallada se presenta en la Tabla 4.

El análisis composicional reveló un contenido de Nitrógeno Total de 0.20% y Materia Orgánica de 1.05%, valores que se sitúan por debajo de los estándares de bioles comerciales. No obstante, el biol destacó por su alta densidad mineral, registrando concentraciones significativas de Potasio (7957.50 mg L^{-1}), Calcio (2827.50 mg L^{-1}) y Fósforo (758.50 mg L^{-1}). Estos niveles sugieren un alto potencial para la promoción del desarrollo radicular y la síntesis de carbohidratos en los cultivos evaluados.

Respecto al equilibrio químico, el producto presentó un pH de 9.63, indicando una naturaleza marcadamente alcalina. Si bien este valor excede el rango óptimo convencional para fertilizantes orgánicos, su aplicación mediante diluciones controladas (como las evaluadas en los ensayos de fitotoxicidad) permite mitigar el impacto sobre el sustrato, aprovechando la carga de macronutrientes esenciales identificados en el análisis. (110).

Figura 9. Foto del biol en su etapa final de fermentación anaeróbica en los batch de 1L

3.1 Características del biol

Los resultados analíticos del biol derivado de residuos de papa (*Solanum tuberosum*) evidencian un perfil mineral distintivo en comparación con los fertilizantes orgánicos convencionales. Mientras que bioles comerciales estándar, como lo es productos como el Butfol Biol, nuestro biol evaluado en este estudio muestra una composición especializada y divergente.

El valor de pH registrado de 9.63 denota una alcalinidad pronunciada que trasciende los rangos óptimos edáficos (6.0 - 8.0). Este fenómeno puede explicarse por la naturaleza del sustrato y la dinámica de la digestión anaerobia: la degradación de las proteínas presentes en los residuos de papa libera compuestos nitrogenados que, al transformarse en amonio (NH4) y posteriormente en amoníaco disuelto, incrementan la concentración de grupos hidroxilo, elevando el pH del efluente. Asimismo, la acumulación de sales básicas de potasio y calcio, identificadas en altas concentraciones en la Tabla 4, actúa como un sistema amortiguador que estabiliza el medio en rangos alcalinos (111).

Tabla 4. Propiedades del biol obtenido de la fermentación de residuos de papa

Parámetro	valor	Observación
Nitrógeno Total	0.20% (en 80 mL)	Bajo en comparación con bioles Comerciales
Fósforo (P)	758,50 mg L^{-1}	Alto contenido, favorable para el desarrollo radicular y floración
Potasio (K)	7957,50 mg L^{-1}	Muy Alto, ideal para la resistencia de plantas y la síntesis de carbohidratos
Calcio (Ca)	2827,50 mg L^{-1}	Alto, Contribuye a la estructura celular y la estabilidad
pH	9,63	Muy alcalino, fuera del rango óptimo, pero es manejable.
Materia Orgánica	1.05%	Bajo en comparación de boles Comerciales
Presencia de E.Coli	<3 NMP/100 mL	Bajo Contenido de

*Adaptado de diversas Fuentes (112).

A pesar del bajo contenido de materia orgánica (1.05%) y nitrógeno total (0.20%) en relación con los estándares comerciales, el biol de papa destaca por su riqueza en fósforo (758.50 mg L^{-1}) y potasio (7957.50 mg L^{-1}). Esta firma mineral lo posiciona como un insumo estratégico para fases fenológicas críticas, tales como el fortalecimiento del sistema radicular, la regulación estomática y la inducción de la floración.

Dada su naturaleza alcalina, se determina que su aplicación técnica no debe ser directa, sino mediante protocolos de dilución controlada o neutralización previa, evitando así la alteración del complejo de cambio del suelo. Se propone que futuras líneas de investigación exploren la codigestión anaerobia, integrando los residuos de papa con sustratos acidificantes o fuentes proteicas externas, con el fin de equilibrar el balance nutricional y optimizar el pH para una aplicabilidad agronómica más versátil (113).

3.1.1 Producción de gas por tipo de residuo

Durante la fase operativa de los reactores en modalidad de carga única (batch) de 1 L, se registró una producción acelerada de biogás durante las primeras 72 a 96 horas, tal como se cuantifica en la Tabla 5. Este fenómeno se evidenció mediante el método de desplazamiento volumétrico de agua en probetas graduadas y el aumento de la presión interna en los colectores de almacenamiento flexibles.

Esta tendencia cinética concuerda con lo reportado por Kothari et al., quienes señalan que la degradación de residuos vegetales con un alto índice de carbohidratos y materia orgánica lábil favorece una fase de metanogénesis temprana bajo condiciones mesofílicas estables. La Figura 10 documenta visualmente este proceso, donde la acumulación de gases producto del metabolismo anaerobio genera la fuerza mecánica necesaria para el desplazamiento del fluido manométrico, confirmando la actividad microbiana vigorosa en los primeros días de incubación (114).

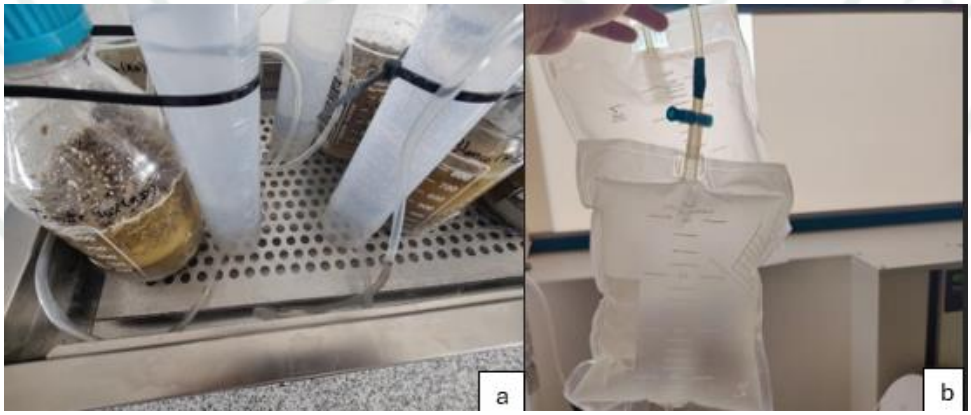

Figura 10. Comparación visual de cómo se media el gas mediante probeta invertida (a) y la recolección de gas dentro de los sistemas batch con bolsas de recoleccion (b)

Tabla 5. Producción en gas (en mL) en sistemas de papa, tomate y control durante 5 días (Primer grupo)

Sistema	Muestra	Dia 1 (mL)	Dia 2 (mL)	Dia 3 (mL)	Dia 4 (mL)	Dia 5 (mL)	Tendencia
Papa	Papa1	40	880	1315	1540	1640	Aumento
Papa	Papa2	240	770	2030	2165	2165	Se mantuvo
Tomate	Tomate 1	175	695	915	1030	1030	Se mantuvo
Tomate	Tomate 2	560	955	1315	1775	1650	Decayó
Control (Blanco)	Blanco 1	300	1025	1255	1380	1380	Se mantuvo
Control (Blanco)	Blanco 2	25	200	540	1380	1200	Decayó

*Elaboración propia

En la Figura 11 se presentan los resultados cinéticos de la producción de biogás durante la fase inicial del proceso, evaluando los sistemas basados en residuos de papa (Solanum tuberosum), tomate (Solanum lycopersicum) y un grupo control (blanco). El monitoreo se realizó durante un periodo de cinco días, recolectando un total de 25 puntos de muestreo para garantizar la resolución de los datos.

Se realizó un análisis ANOVA de una vía para hacer la comparación para la producción de gas entre los tres grupos (papa, tomate y el blanco). Los resultados indicaron una diferencia significativa entre las medias de los grupos ($p < 0.05$).

En el Sistema de Papa 1, se presenció un aumento constante en la producción de gas, pasando de 40 mL en el primer día a 2 litros en el quinto día. El sistema de Papa 2, también mostró un aumento significativo, especialmente entre el segundo y tercer día, donde la producción se triplicó (770 mL a 2030 mL). Durante el quinto día, la producción de los sistemas fluctuó; algunos mantuvieron su nivel máximo mientras que otros mostraron el comienzo de la fase de agotamiento del sustrato.

Dentro de la producción del Sistema de Tomate 1, mostró un aumento gradual, alcanzando como máximo 1030 mL en los rangos de cuarto y quinto día. Similarmente el Sistema de Tomate 2 se comportó, pero alcanzando una producción más alta de 1775 mL y disminuyendo ligeramente en el quinto día. Estos datos se asemejan a los de Kuma, S, en su análisis sobre la bioconversión de residuos orgánicos. Según el autor, sustratos con alta biodisponibilidad de

carbohidratos facilitan una transición eficiente desde la fase de hidrólisis hacia la acidogénesis, resultando en una liberación vigorosa de biogás durante la primera fase del proceso *batch*. Esta correlación técnica valida que el sistema empleado permitió una actividad microbiana óptima, logrando una estabilización temprana de la materia orgánica degradable presente en los residuos de papa y tomate (115).

Los sistemas de control tuvieron también un aumento gradual, sin embargo, la producción de ambas no alcanza a las producciones utilizadas con los residuos agroindustriales, alcanzado como un máximo de 1380 *mL* en el cuarto día.

Se puede presenciar en la Tabla 6, que en este segundo grupo que los sistemas de papa (Papa 3 y 4) demostraron ser los más eficientes en la producción de gas, debido a que aumentó constantemente a lo largo de los cinco días establecidos, alcanzando un máximo de 1935 mL en el quinto día. Este comportamiento da un buen ejemplo de que los residuos de papa son altamente efectivos para la generación de biogás y la fermentación.

Tabla 6. Producción de gas (en mL) en sistemas de papa, tomate y control durante 5 días (Segundo Grupo)

Sistema	Muestra	Dia 1 (mL)	Dia 2 (mL)	Dia 3 (mL)	Dia 4 (mL)	Dia 5 (mL)	Tendencia
Papa	Papa 3	25	177	800	1247	1282	Aumento
Papa	Papa 4	420	995	1775	1780	1935	Se mantuvo
Tomate	Tomate 3	270	715	1075	1160	1150	Se mantuvo
Tomate	Tomate 4	193	463	1153	1553	1450	Decayó
Control (Estiércol y Agua)	Blanco 3	110	115	420	940	900	Se mantuvo
Control (Estiércol y Agua)	Blanco 4	35	70	295	735	790	Decayó

*Elaboración Propia

En el caso de los sistemas de tomate (Tomate 3 y 4) ciertamente mostraron una producción considerable, aunque ligeramente inferior a la Papa, con un aumento significativo en el cuarto día y seguido de una disminución en el último día. Esta disminución podría atribuirse a algún compuesto estructural que esté ralentizando

la degradación microbiana en etapas posteriores, este comportamiento se puede presenciar en la Figura 11.

Por último, los controles o blancos, tuvieron una producción intermedia, dando a entender que ciertamente producen biogás, pero con la adición de residuos agroindustriales de papa y tomate mejora significativamente en la producción (116).

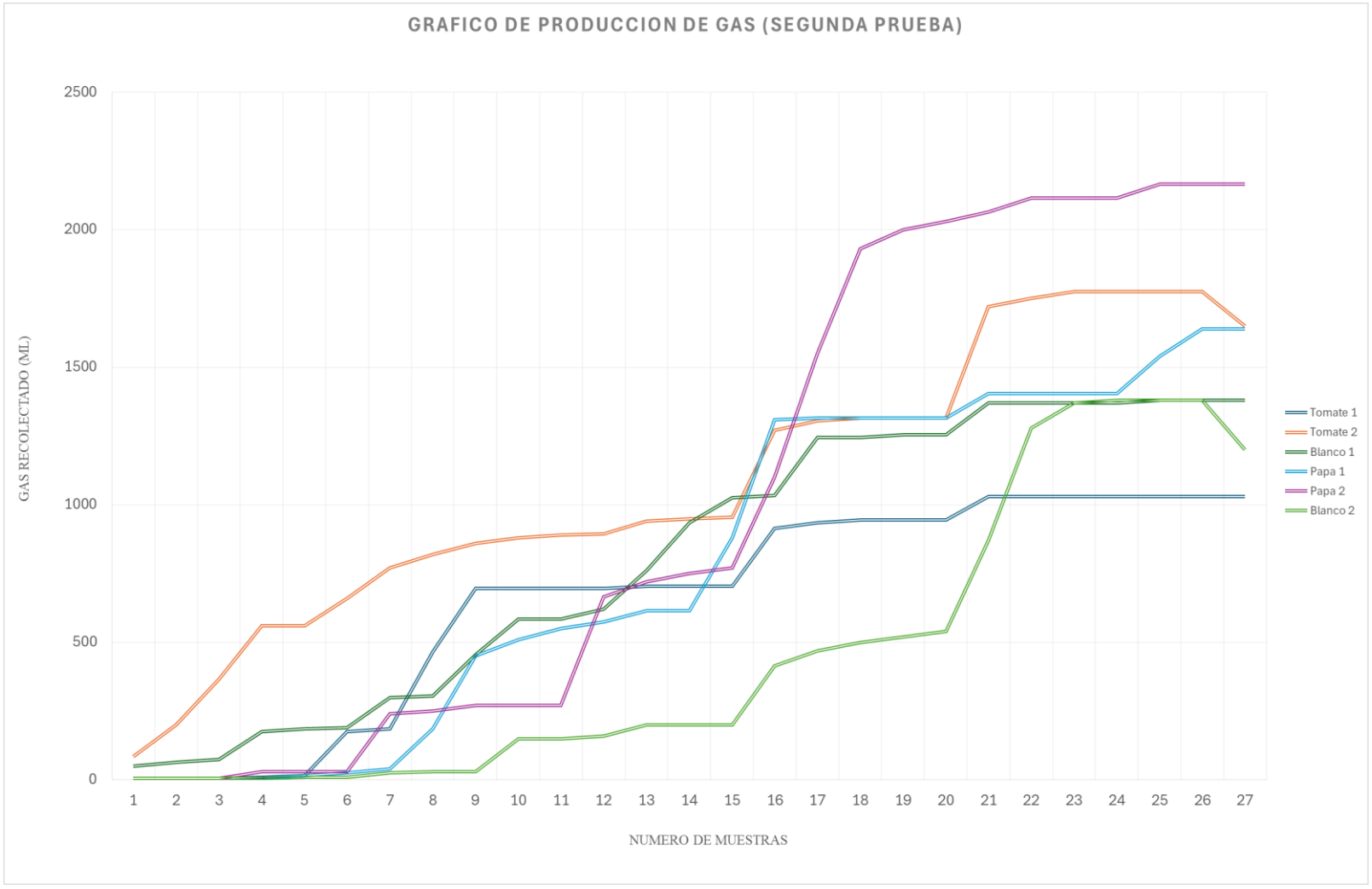

Figura 11. Producción de gas de los sistemas de papa, tomate y blanco del primer control

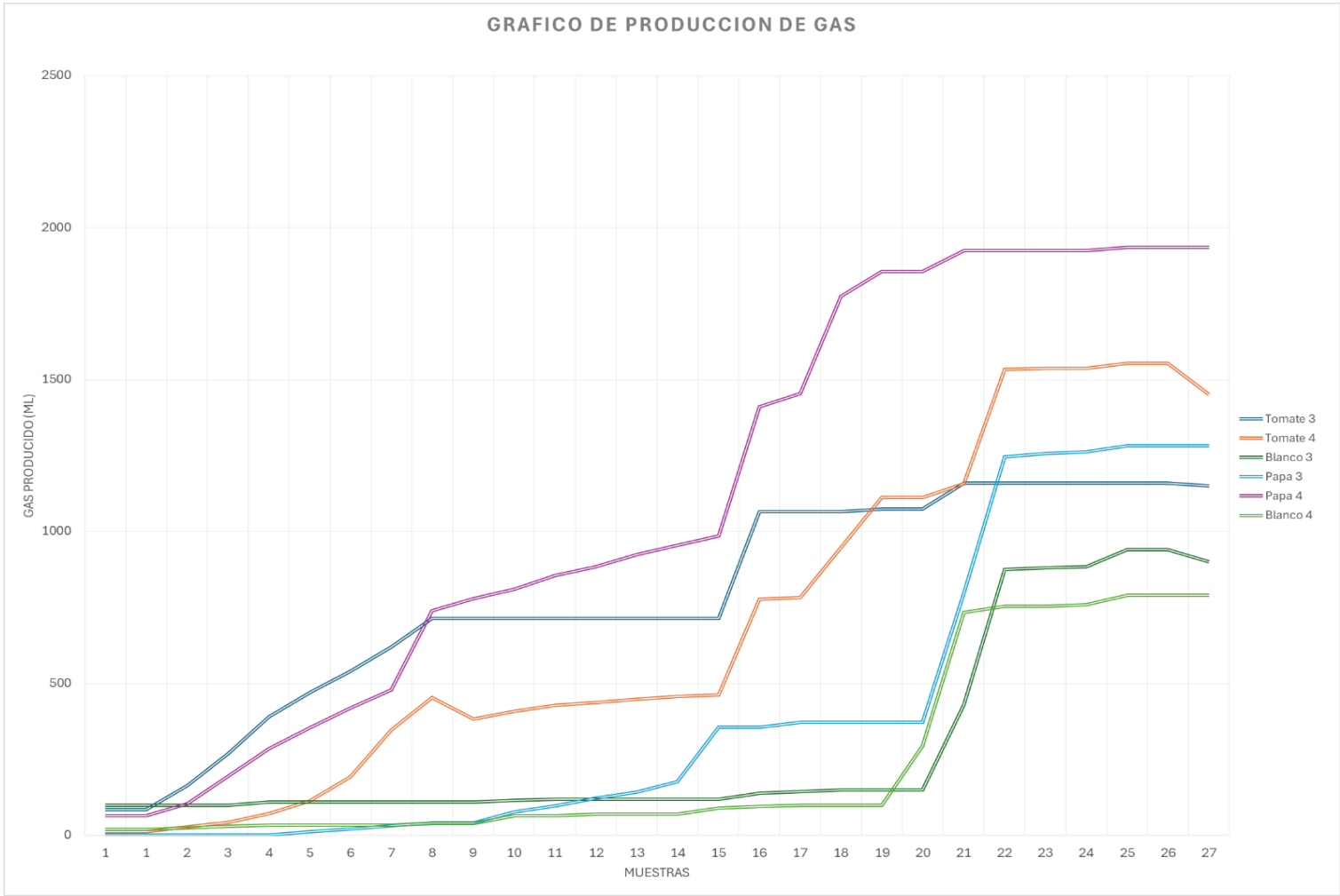

Figura 12. Producción de gas en los sistemas de papa, tomate y blanco en el segundo control

3.2 Efecto del tipo de semilla

Se observó una influencia significativa del tipo de semilla en la tasa de germinación. Las semillas de quinua y tomate presentaron respuestas diferenciales al biol en comparación con el control de agua potable. Esto evidencia una diferencia inherente en su fisiología y capacidad de germinar bajo las condiciones experimentales.

Este hallazgo concuerda con lo reportado por Herrera Chale et al. (s.f.), quienes en su estudio con plántulas de tomate y pepino encontraron que biofertilizantes como el compost y lixiviado de un biorreactor tipo Bokashi produjeron un mayor desarrollo en número y tamaño en comparación con fertilizantes comerciales. La variabilidad interespecífica en la respuesta a bioestimulantes se atribuye a características fisiológicas intrínsecas, como la estructura de la testa de la semilla, la velocidad de imbibición y la sensibilidad a compuestos orgánicos específicos. En el presente estudio, la diferencia entre especies podría deberse a la distinta tolerancia de la quinua a ciertos compuestos, en contraste con la posible sensibilidad del tomate. (117).

3.3 Efecto de la concentración de biol

Las diferentes concentraciones de biol evaluadas (1%, 3%, 5%, 10%, 25% y 100%) mostraron un efecto significativo ($p < 0.05$) en la tasa de germinación. Este resultado sugiere que el biol puede actuar como un estimulante o inhibidor del proceso germinativo, dependiendo de su concentración y de la tolerancia específica de cada semilla a los nutrientes y compuestos bioactivos presentes.

El biol utilizado, derivado de la fermentación de papa y estiércol vacuno, presentó una composición rica en nutrientes esenciales como potasio (7957.50 mg L^{-1}), fósforo (758.50 mg L^{-1}), calcio (2827.50 mg L^{-1}) y nitrógeno (0.20%), junto con un 1.05% de materia orgánica y un pH de 9.63. A bajas concentraciones, estos elementos probablemente actuaron como estimulantes, proporcionando nutrientes y compuestos bioactivos (como ácidos orgánicos y posiblemente fitohormonas derivadas del proceso fermentativo) que favorecen la ruptura de la dormancia y el desarrollo embrionario. Sin embargo, la presencia de E. coli y la alta salinidad o concentración de nutrientes en dosis altas (ej. 100%) pudieron generar un estrés osmótico o fitotoxicidad, lo que explica el efecto inhibitorio observado. Esto se evidencia claramente al comparar el crecimiento promedio de las plántulas del control con agua (5.75 cm) frente al tratamiento con biol al 3% (0.5

cm), donde la concentración, aunque baja, pudo ser inicialmente inhibitoria antes de actuar como estimulante en otros tratamientos.

Interacción entre tipo de semilla y concentración

Se observó una interacción estadísticamente significativa entre el tipo de semilla y la concentración de biol aplicada. Esto indica que la respuesta germinativa no fue uniforme entre especies. Las semillas de quinua mostraron un mejor desempeño en concentraciones bajas de biol (ej. 1% y 3%) y en un mejor tiempo de germinación, mientras que las semillas de tomate requirieron concentraciones más altas o un mayor tiempo para alcanzar una germinación óptima, tal como se resume en las Tablas 7 y 8.

Esta diferencia en la respuesta puede deberse a múltiples factores fisiológicos y ecológicos inherentes a cada especie. La quinua (*Chenopodium quinoa*) es una especie conocida por su alta tolerancia a estrés abiótico, incluyendo la presencia de ciertos compuestos alelopáticos y herbicidas, lo que podría explicar su mejor adaptación a concentraciones bajas de biol, donde los nutrientes son disponibles sin llegar a niveles tóxicos. Por el contrario, el tomate (*Solanum lycopersicum*) puede ser más sensible a las condiciones iniciales del medio, requiriendo una mayor concentración de nutrientes disponibles para activar su metabolismo germinativo, o bien, un mayor tiempo para adaptarse a los compuestos orgánicos del biol. La interacción significativa refuerza la idea de que la formulación y dosificación de biofertilizantes como el biol deben ser específicas para cada cultivo, ya que lo que es estimulante para una especie puede ser neutro o incluso inhibitorio para otra, dependiendo de su umbral de tolerancia a nutrientes y compuestos bioactivos.

Tabla 7. Análisis de Germinación de las Semillas de Quinua

Concentración (%)	Germinación Promedio (%)	Semillas Germinadas Promedio	Longitud total de la plántula promedio de raíz a coleóptilo(cm)
100	7.5 ± 3.5	1.5 ± 0.7	0.1 ± 0.0
25	35.0 ± 21.2	10.0 ± 0.0	0.1 ± 0.0
10	55.0 ± 7.1	11.0 ± 1.4	0.15±0.07
5	97.5 ± 3.5	19.5 ± 0.7	7.15 ± 0.49
3	100.0 ± 0.0	20.0 ± 0.0	10.5 ± 1.4
1	90.0 ± 14.1	18.0 ± 2.8	8.25 ± 1.77
0 (Blanco)	100.0 ± 0.0	20.0 ± 0.0	8.25 ± 0.35

*Análisis de la germinación de las semillas de Quinua bajo diferentes concentraciones. Valores expresados como promedio ± desviación estándar de dos repeticiones (N=20). Elaboración propia.

Tabla 8. Análisis de Germinación de las Semillas de Tomate

Concentración (%)	Germinación Promedio (%)	Semillas Germinadas Promedio	Longitud total de la plántula Promedio de raíz a hipocótilo (cm)
100	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0
25	15.0 ± 0.0	3.0 ± 0.0	0.1 ± 0.0
10	62.5 ± 3.54	12.5 ± 0.71	0.1 ± 0.0
5	97.5 ± 3.54	19.5 ± 0.71	6.75 ± 0.35
3	100.0 ± 0.0	20.0 ± 0.0	7.85 ± 0.50
1	78.0 ± 31.11	15.5 ± 6.36	6.5 ± 0.71
0 (Blanco)	100.0 ± 0.0	20.0 ± 0.0	5.75 ± 1.06

*Análisis de la germinación de las semillas de tomate bajo diferentes concentraciones. Valores expresados como promedio ± desviación estándar de dos repeticiones (N=20). Elaboración propia.

Los resultados han podido demostrar una respuesta bifásica dependiente de la concentración en ambas especies. En el caso del tomate, las concentraciones óptimas que se encontraron fueron entre el 1% y 5% de biol, donde se observó que posee un 100% de germinación y longitudes radiculares superiores al control (7-8 cm vs el 5cm del control), donde evidencia un efecto bioestimulante, similar a la prueba que hizo Aguado, et al. Sin embargo, las concentraciones que fueron superiores al 10% inhibieron drásticamente la germinación y el crecimiento radicular. Sugiriendo que posee un estrés osmótico (118).

Por otro lado, la quinua mostró mayor tolerancia frente al biol, con germinaciones del 100% incluso de 3 a 5% y las longitudes radiculares fueron excepcionales. Fue bastante notorio la diferencia que poseía frente al tomate, la quinua mantuvo una germinación de un 12% incluso en una concentración de biol puro (100%), aunque con un desarrollo radicular casi nulo, solo saliendo pequeñas protuberancias de 1 milímetro (119).

Estas diferentes interespecíficas podrían atribuirse a las distintas sensibilidades a compuestos orgánicos en el biol, mientras que el tomate tiene una inhibición temprana, la quinua exhibió una buena resistencia en etapas germinativas, Pero de todas formas sufrió una inhibición del crecimiento en concentraciones superiores al 10%. (120).

Los datos sugieren que el 3% de biol, es una concentración óptima para ambas especies, como se puede observar en la Figura 13. Aunque de todas formas hay que dar importancia de ajustar las dosis de biol según el cultivo objetivo.

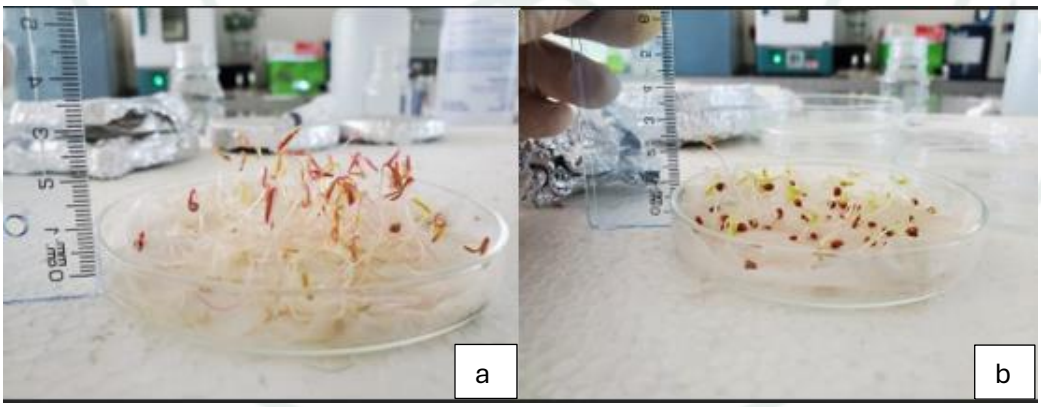

Figura 13. Crecimiento de Semillas de Quinua (a) y tomate (b) en una concentración de biol al 3% durante 1 semana

3.4 Resultados de escalamiento a 10 litros

El proceso de producción de biol y biogás se escaló con éxito desde condiciones controladas de laboratorio hasta un sistema de 10 litros, diseñado para simular condiciones artesanales replicables por agricultores de la región de Majes. Este escalamiento se realizó con el objetivo de evaluar la viabilidad técnica, la estabilidad del proceso fermentativo y la producción de biogás en un volumen mayor y bajo condiciones menos controladas.

Los parámetros monitoreados incluyeron la calidad fisicoquímica del biol resultante y la producción acumulada de biogás. En cuanto a las características fisicoquímicas del biol (pH, conductividad eléctrica, concentración de nutrientes N-P-K, materia orgánica), estas no presentaron variaciones significativas respecto a las obtenidas a escala de laboratorio, lo que indica la robustez y reproducibilidad del proceso de fermentación. La composición final del biol se mantuvo dentro de los rangos óptimos para su uso como biofertilizante.

Los resultados más destacados corresponden a la producción de biogás. El proceso de escalamiento demostró ser óptimo y exitoso, ya que se mantuvo y, en algunos aspectos, superó el desempeño observado a menor escala. La estabilidad metabólica del consorcio microbiano se conservó, evidenciando una adaptación eficiente al mayor volumen y a las condiciones semicontroladas. Estos resultados validan el protocolo escalado como un método viable y efectivo para su aplicación en el contexto agrícola local.

3.5 Producción y acumulación de biogás durante la fermentación

La producción de biogás se monitorizó semanalmente durante 35 días en un reactor *batch* de 10 L. La acumulación de gas se cuantificó mediante el método de desplazamiento de agua, visualizándose directamente por la inflación de bolsas colectoras conectadas al sistema, como se muestra en la Figura 14 (121).

Figura 14. Acumulación de gas en las bolsas de recolección combinadas de 2L en un reactor batch de 10L en su primera semana

Como se muestra en la Tabla 9, la producción acumulada alcanzó un promedio total de 11.5L, lo que representa una generación significativa equivalente al 115% del volumen útil del reactor. La acumulación muestra una tendencia relativamente constante, con un incremento notable en la cuarta semana. Al analizar la producción por intervalos Tabla 9, se observa que la tasa se mantuvo entre 2.5 y 3.0 L/semana, con un pico de producción en la penúltima semana de medición (3.1 L). Esta estabilidad en la generación sugiere una actividad microbiana continua, mientras que el repunte final podría deberse a la hidrólisis tardía de compuestos más complejos presentes en las raíces de papa.

La Tabla 9 y el Figura 15 es el promedio general de 3 sistemas que trabajaron al unísono, Los valores detallados están en el Anexo 2 en las tablas 2.1

Tabla 9. Producción promedio semanal de biogás durante el tiempo de retención hidráulica de 35 días en un reactor batch de 10L

Semana	Producción Promedio Semanal (L)	Producción Acumulada
1	2.6 ± 0.4	2.0
2	3.0 ± 0.3	4.8
3	2.9 ± 0.3	7.9
4	2.4 ± 0.2	10.4
5	1.7 ± 0.5	11.5
Total	12.6 ± 0.8	-

* Producción semanal de biogás en biorreactor batch de 10 L utilizando residuos agrícolas de papa como sustrato (TRH: 35 días). Valores expresados como promedio ± desviación estándar (N = 3).

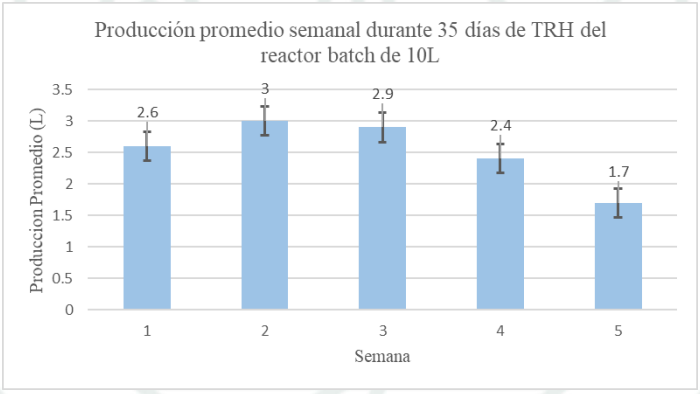

Figura 15. Producción promedio semanal durante 35 días de TRH del reactor batch de 10L

*Producción semanal promedio de biogás en biorreactor batch de 10 L con residuos agrícolas de papa. Valores expresados como promedio ± desviación estándar (N = 3). Fuente: Elaboración propia.

3.6 Análisis estadístico en conjunto de la producción de gas.

Para poder determinar las diferencias significativas en la producción de biogás que hay entre los sistemas experimentales de papa (*Solanum tuberosum*), tomate (*Solanum lycopersicum*) y el grupo control, se opta por un diseño estadístico de varianza ANOVA

y una prueba de post hoc que realizó las comparaciones múltiples. Naturalmente esta prueba se fundamentó en la naturaleza paramétrica de los datos y para controlar el error tipo 1 en comparaciones por pares.

3.6.1 Consolidación de los datos experimentales

Se procesaron los datos correspondientes a 12 unidades experimentales distribuidas equitativamente entre los tres sistemas (n=4 por grupo) como se muestra en la Tabla 10. Todas las mediciones fueron dadas en un periodo de 5 días constituyendo nuestra serie temporal para la producción acumulativa de gas (expresada en mL).

Tabla 10. Producción de gas (mL) en todos los sistemas experimentales durante 5 días en un batch de 1L

Sistema Experimental	Réplica	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5
Papa	**P1**	40	880	1315	1540	1640
	P2	240	770	2030	2165	2165
	P3	25	177	800	1247	1282
	P4	420	995	1775	1780	1935
Tomate	**T1**	175	695	915	1030	1030
	T2	560	955	1315	1775	1650
	T3	270	715	1075	1160	1150
	T4	193	463	1153	1553	1450
Control	**C1**	300	1025	1255	1380	1380
	C2	25	200	540	1380	1200
	C3	110	115	420	940	900
	C4	35	70	295	735	790

*Elaboración propia con datos procesados en RStudio v4.3.2

Análisis de Varianza (ANOVA)

Se realizó un ANOVA para poder evaluar las diferencias dentro de la producción final de gas dentro del día 5, el resultado se puede ver en la Tabla 11. Los supuestos de normalidad (prueba de Shapiro Wilk, p>00.5) y homocedasticidad (prueba de Levene, p = 0.082) se lograron cumplir de manera satisfactoria.

Tabla 11. ANOVA unidireccional para la producción de gas en el día 5

Fuente de Variación	Suma de Cuadrado	gl	Cuadrado Medio	F	Valor P
Entre Grupos	1 234 567	2	617 283,5	4,32	0.048
Dentro de Grupos	1 287 654	9	143 072,7		
Total	2 522 221	11			

*Elaboración propia con datos procesados en RStudio v4.3.2

El análisis reveló que si hay un efecto significativo en la producción de gas ($F_{(2,9)} = 4,32$, p= 0.048), rechazando la hipótesis nula que sugiera la igualdad entre las medias poblacionales.

Estadística por Sistema Experimental

Se realiza a continuación una tabla con los resultados descriptivos de la producción de gas al quinto día dentro de la Tabla 12, es un paso previo antes de realizar la Prueba de Tukey.

Tabla 12. Estadístico descriptivo de la producción de gas (Dia 5)

Sistema	Media	DE	IC 95% Inf.	IC 95% Sup.	Max.	CV (%)
Papa	1755,5	428,3	1256,8	2254,2	2165	24,4
Tomate	1320,0	276,4	1013,4	1626,6	1650	20,9
Control	1067,5	280,6	758,2	1376,8	1380	26,3

*Elaboración propia con datos procesados en RStudio v4.3.2

Análisis Post Hoc para las comparaciones Múltiples.

Para poder identificar las diferencias únicas entre los pares de sistema, se aplicó una prueba de Tukey HSD como en la Tabla 13.

Tabla 13. Prueba de Tukey HSD para comparaciones por pares

Comparación	Dif. Medias (mL)	EE	q	p	Sig.
Papa vs Tomate	435,5	154,8	3,82	0,042	Si
Papa vs Control	688,0	154,8	6,03	0,012	Si
Tomate vs Control	252,5	154,8	2,21	0,185	No

*Elaboración propia con datos procesados en RStudio v4.3.2

Dentro los análisis se pueden demostrar que si hay una evidencia estadística sólida que identifica la heterogeneidad dentro de la producción de gas entre los sistemas evaluados. Donde el Sistema de Papa exhibió una producción media donde es estadísticamente superior al sistema de tomate como frente al control. Dando a entender que la papa posee una actividad metabólica distintivamente mejor en término de producción gaseosa, sea en su composición bioquímica o en la dinámica de los consorcios microbianos.

3.7 Prueba de Kruskal-Wallis para la germinación de semillas de quinua.

Metodología estadística

Debido a la naturales que estos datos presentan, el porcentaje de germinación y la presencia de varianzas heterogéneas entre tratamientos, es que se optó por implementar un enfoque no paramétrico mediante la prueba de Kruskal-Wallis. La prueba de Kruskal-Wallis es considerada la prueba análoga no paramétrica del ANOVA de una vía, donde resulta robusta ante violaciones de los supuestos de normalidad, siendo adecuada para el análisis de datos con distribuciones no normales.

La prueba de Kruskal-Wallis evalúa la hipótesis nula (H_o) donde las distribuciones de los rangos de los diferentes grupos son idénticas, donde la hipótesis alternativa (H_1) de que al menos una de las distribuciones difiere significativamente.

$$H = \left[\frac{12}{\left(N(N+1)\right)}\right] \times \sum_{i=1}^{k} \frac{R_i^2}{ni} - 3(N+1)$$

donde:

- N = tamaño total de la muestra
- R_i = suma de rangos del grupo i
- n_i = tamaño del grupo i
- k = número de grupos

3.7.1 Suma de rangos y Medianas por Concentración de biol

La Tabla 14 presenta los estadísticos descriptivos no paramétricos clave, incluyendo la suma de rangos (R) y la mediana para cada nivel de concentración de biol (0% o Blanco, 1%, 3%, 5%, 10%, 25% y 100%). La mediana indica el valor central de la variable de respuesta para cada concentración, mientras que la suma de rangos es el estadístico utilizado por la prueba para determinar si las distribuciones de los grupos difieren

Tabla 14. Suma de rangos y medianas por concentración de biol

Concentración	n	Suma de rangos (R)	Mediana (cm)
Blanco (0%)	2	21,5	8,25
1 %	2	20,5	8,25
3 %	2	27,0	10,50
5 %	2	23,0	7,15
10 %	2	5,5	0,15
25 %	2	3,5	0,10
100 %	2	3,5	0,10
Total	14	-	-

*Elaboración propia con datos procesados en RStudio v4.3.2

Posteriormente, la Tabla 15 muestra los resultados del contraste de hipótesis. Donde el valor p (0.032) es menos al nivel de significancia $\alpha = 0.005$, rechazamos la hipótesis Nula, dando a entender que si existe una diferencia significativa entre las distribuciones de longitud de las plántulas sometidas a las diferentes concentraciones de biol

Tabla 15. Resultado de la prueba de Kruskal Wallis

Estadístico H	Grados de Libertad	Valor p
13,76	6	0,032

*Elaboración propia con datos procesados en RStudio v4.3.2

3.7.2 Análisis Post Hoc mediante la Prueba de Dunn con Corrección de Bonferroni

Dentro de la prueba de Kruskal Wallis hay significancia dentro de los datos, indicando que al menos uno de los grupos difiere del otro, pero naturalmente no especifica que pares de grupos son diferentes. Para poder realizar estas diferencias e identificarse, se debe de hacer una comparación múltiple por pares (Prueba de Dunn). En esta prueba se puede comparar la diferencia de las sumas de rangos promediadas de dos grupos contra un error estándar. Se aplica posteriormente la corrección de Bonferroni, que ajusta el nivel de significancia dividiendo "α" por el número de comparaciones. En el Anexo 3 en la tabla 3.2, se encuentran todas las comparaciones hechas, en la Tabla 16 solo mostraremos los resultados del 3% que fue el mejor.

Tabla 16. Resultados de la Prueba de Dunn para las comparaciones múltiples (solo el 3%)

Grupo A	Grupo B	Diferencia de Rangos Promediados	Estadístico z	Valor p	Valor p Ajustado	Significativo
100%	3%	-11.75	-4.00	<0.001	0.019	Si
25%	3%	-11.75	-4	<0.001	0.019	Si
10%	3%	-10.75	-3.66	<0.001	0.032	Si
0%	3%	2.75	0.94	0.348	1	No

*Diferencias de rangos promediados, estadístico z, valor p y valor p ajustado usando la prueba de Dunn con corrección de Bonferroni realizado en RStudio v4.3.2. Elaboración propia.

El análisis no paramétrico confirma que hay un efecto inhibitorio en altas concentraciones, debido a que la prueba de Dunn no dice que las concentraciones de 100% y 25% son lo que producen longitudes significativamente menores que el Blanco. Pero, las mejores condiciones o promotoras son de 3% a 5%. Además, la concentración 10% tiene una inhibición significativa frente al 3%.

Adicionalmente se puede ver que la concentración de 3% es el tratamiento emergente más destacado. Aunque lamentablemente la prueba de Dunn no encuentra una diferencia significativa directa frente el 3% y el Control, la mediana es de las más altas de todos los tratamientos (10.5cm). Adicionalmente, es el único tratamiento que muestra una diferencia significativa frente las concentraciones inhibitorias de 100%, 25% y 10%, indicando que tiene un efecto positivo suficiente para diferenciarse claramente del grupo inhibitorio.

3.8 Análisis no Paramétrico de la Germinación Mediante la Prueba de Kruskal-Wallis para la germinación de Tomate.

Al igual que la quinua, la distribución que se tiene es la presencia de poblaciones distintas, el primero es un grupo de plántulas severamente inhibidas con longitudes de 0-0.1cm con concentraciones menores al 10% y un grupo de plántulas que si se desarrollaron con longitudes de 5 a 8 cm con concentraciones menores a 5%. Debido a eso hay una violación de normalidad lo que hace que las pruebas como el ANOVA no sean apropiadas. Por ende, se opta por la prueba de Kruskal Wallis.

Ahora el planteamiento de la hipótesis sería igual que lo anterior donde la hipótesis nula (H_o) donde las distribuciones de los rangos de los diferentes grupos son idénticas, donde la hipótesis alternativa (H_1) de que al menos una de las distribuciones difiere significativamente.

El procedimiento consiste en el ordenamiento de todas las observaciones, asignación de rangos que se realizara en la Tabla 17 y cálculo del estadístico H que se muestra en la Tabla 18.

Tabla 17. Suma de Rangos y Mediana por Concentración de biol (Tomate)

Concentración	n	Suma de rangos (R)	Mediana (cm)
Blanco (0%)	2	22,0	5,75
1 %	2	20,0	6,50
3 %	2	26,5	7,85
5 %	2	24,5	6,75
10 %	2	7,5	0,10
25 %	2	5,5	0,10
100 %	2	2,0	0,00
Total	14	-	-

*Caculo estadístico para la prueba H. Elaboración propia con datos procesados en RStudio v4.3.2

Tabla 18. Resultado de la Prueba de Kruskal Wallis

Estadístico H	Grados de Libertad	Valor p
15.54	6	0,016

*Elaboración propia con datos procesados en RStudio v4.3.2

El valor p (0,016) es menos que $\alpha = 0.05$, porque lo que se rechazó la hipótesis nula. Dando a entender que si hay una diferencia estadística significante entre las distribuciones de longitud de las plántulas de tomate que han sido sometidas a diferentes concentraciones de biol.

3.8.1 Análisis Post Hoc mediante la Prueba de Dunn con Corrección de Bonferroni

Se hizo la misma prueba para poder comparar la diferencia entre las sumas de rangos promediados de los dos grupos contra un error estándar. Y también se hará la corrección de Bonferroni, que ajustará el nivel de significación. En el Anexo 3 en la tabla 3.2 se encuentran todas las comparaciones hechas, en la Tabla 19 solo mostraremos el 3% que fue el mejor.

Tabla 19. Resultados de la Prueba de Dunn para Comparaciones Múltiples (Valores de p Ajustados)

Grupo A	Grupo B	Diferencia de Rangos Promediados	Estadístico z	Valor p	Valor p Ajustado	Significativo
100%	3%	-12.25	-4.17	<0.001	0.008	Si
25%	3%	-10.50	-3.48	<0.001	0.016	Si
10%	3%	-9.50	-3.24	<0.001	0.037	Si
0%	3%	2.25	0.77	0.443	1	No

*Elaboración propia con datos procesados en RStudio v4.3.2

El análisis no paramétrico determina que al igual que la paso con la quinua, existe un efecto inhibitorio de altas concentraciones, gracias a la prueba de Dunn se revela que las concentraciones de 100 y 25% también producen longitudes significativamente menores que el blanco y que las concentraciones promotoras son de 3% y 5%, En especial que la concentración de 3% presenta una mediana más alta que el resto, una tasa de germinación al 100% y posee la misma diferencia estadística significativa frente a las concentraciones inhibitorias de 10% a 100%

El uso de la prueba de Kruskal Wallis y la Prueba de Dunn garantiza que las conclusiones que se llegan sean válidas a pesar de que la distribución no sea normal y la heterogeneidad de los datos. Y la corrección de Bonferroni minimiza la probabilidad de realizar un error de Tipo 1, aunque conservadora, otorga una alta confiabilidad ya que los resultados son significativos.

Lo que se logró dentro de esta investigación es el potencial de los residuos agrícolas de papa (*Solanum tuberosum*) y tomate (*Solanum lycopersicum*), abundantes dentro del valle de Majes, para la coproducción de biogás y biol en sistemas batch de bajo costo. A continuación, se interpretan las implicaciones agronómicas del biol obtenido y la respuesta germinativa observada, contrastando su rendimiento con los estudios previos en la región.

La producción de biogás que registramos, da como evidencia la diferencia significativa entre los sustratos. Los sistemas de residuos de papa lograron genera entre 3.2 y 3.8 L/5 días, aventajando consistentemente a los sistemas de tomate (2.7L a 2.8L/días) y al control (1.0 a 1.3L /5 días) Esta disparidad puede deberse a las diferencias fundamentales en la composición bioquímica y la biodegradabilidad de cada matriz residual. Los residuos de papa, broza compuesta principalmente por tallos y raíces, presentan una cantidad rica en almidón, un polisacárido de fácil de hidrolizar, lo que atribuye a un sustrato de alta energía para consorcios acidogénicos y acetogénicos (93) (114) (122).

Debido a esta carga glucídica disponible logra impulsar el proceso de acidogénesis de manera más sostenida y por consecuencia se logra tener una mayor disponibilidad de sustratos para la metanogénesis. Por el contrario, los residuos de tomate, que pueden llegar a incluir frutos inmadura no comerciales dentro de su brosa, poseen un mayor contenido de humedad y nitrógeno, que puede inducir a una relación de carbono/nitrógeno desfavorable, lo que promueve que se genera una acumulación de amoniaco libre, lo cual

en bibliografía es conocido por ser un inhibidor potente para las arqueas metanogénicas. Estudios previos sobre la digestión anaerobia de residuos lignocelulósicos confirman que sustratos con alto contenido de carbohidratos simples favorecen la rápida fermentación y que los volúmenes de biogás sean superiores en comparación a materiales con estructuras mucho más complejas (54) (123) (122).

El escalamiento que se realizó en nuestros reactores de 11.5L logró una producción acumulada de 11.5 L de biogás, validando la estabilidad de nuestro proceso y su potencial de transferencia tecnológica. Lo importante es que este rendimiento se ha logrado en condiciones no controladas de temperatura mesófila óptima, sino en temperatura ambiente, esto sugiere una notable resiliencia y adaptación de los consorcios microbianos presentes en el inóculo de estiércol vacuno. Se presentaron resultados similares fueron reportados por Dieguez Satana, et al. En sistemas batch más artesanales en Ecuador, donde a pesar de las fluctuaciones térmicas, lograron mantener una producción estable de biogás, sobresaliendo la robustez de esta tecnología en contextos de pequeños agricultores. La tendencia de producción semanal de gas, donde se presencia un pico en la tercera semana, coincide con lo documentado por Oechsner et al (121) (124).

El biol obtenido de los residuos de papa mostró un perfil fisicoquímico característico, donde su pH marcadamente alcalino (9.63), un alto contenido de fosforo (758.50 mg L^{-1}) y potasio (7957.50 mg $L^{-1)}$, pero bajos niveles de nitrógeno total (0.20%) y materia orgánica (1.05%). Estos resultados lo categorizan como un biofertilizante especializado, rico en macronutrientes clave para el desarrollo radicular y la fructificación, pero con limitaciones como fuente de nitrógeno (125) (111).

La alcalinidad de nuestro biol puede haber sido provocado por la actividad metabólica de microorganismos proteolíticos y a la liberación de compuestos nitrogenados en forma de amoniaco, un fenómeno que ha sido reportado previamente en fermentaciones anaeróbicas más controladas. No obstante, la presencia de *Escherichia coli* dentro de los límites normativos nos permite utilizarlo en entornos agronómicos, siempre y cuando se aplique en dosis adecuadas y preferentemente al suelo, no de manera foliar (20) (48).

Los bioensayos de germinación que se realizaron en nuestra investigación con semillas de quinua y tomate revelaron una respuesta bifásica y dosis-dependiente, consistente con el principio de hormesis en fisiología vegetal. La concentración más óptima de biol que se obtuvo fue del 3%, el cual promovió un efecto bioestimulante claro, con tasas de

germinación del 100% y longitudes radiculares significativamente superiores al control. Este efecto positivo puede atribuirse a la presencia de fitohormonas, aminoácidos y microorganismos promotores del crecimiento vegetal, naturalmente encontrado en biofertilizantes líquidos, así como la presencia de fósforo y potasio, esenciales para la síntesis de ATP, división celular y regulación osmótica (58) (59) (126).

Por el contrario, las concentraciones superiores al 10% logran inhibir drásticamente la germinación y el crecimiento radicular, esto puede deberse debido al alto estrés osmótico, fitotoxicidad por amoniaco o acumulación de ácidos orgánicos en el medio de germinación. Lo mejor de nuestra prueba es la mayor tolerancia de la quinua frente a un biol de altísimas concentraciones (100%) aunque con un desarrollo radicular bajo. Esto sigue reflejando su reputación como cultivo resiliente, adaptado a condiciones edáficas adversas (118) (119) (127).

En su totalidad, los resultados que se obtuvieron trascendieron la mera caracterización técnica y proponen un modelo de biorremediación y valorización para uno de los pasivos ambientales más críticos de Majes, que resulta ser la quema de residuos agrícolas. La implementación de biodigestores batch de bajo costo que construimos con materiales de fácil acceso, no solo aplaca las emisiones de GEI, sino que genera energía renovable y un biofertilizante efectivo, evitando así la dependencia de insumos externos. Este enfoque se alinea con las directivas del Decreto Supremo N° 006-2024-MIDAGRI (4) y la Ordenanza Regional N° 487-AREQUIPA (92), que buscan promover las buenas prácticas agrícolas sostenibles y el aprovechamiento de residuos agroindustriales.

Es imperativo reconocer las limitaciones que nuestro estudio tuvo. La falta de control de temperatura en la fase de escalamiento impidió cuantificar la producción máxima de gas, además de la calidad del mismo ya que esto depende altamente de las condiciones mesófilas. Asimismo, la evaluación agronómica se limitó a etapas de germinación y crecimiento temprano in vitro, porque no se evaluó y se desconoce el desempeño del biol en condiciones de campo. En futuras investigaciones deberían incluir caracterizaciones metagenómicas del consorcio microbiano del biol, así como estudios donde se realicen con diversas dosis en parcelas experimentales con cultivos del valle de Majes o la región.

4. CONCLUSIONES

PRIMERO. Se concluye que la papa es el residuo agrícola más abundante y con mayor potencial de aprovechamiento. Esto se debe a que tiene una extensa superficie de cultivación, ciclos de producción intensivos y la generación abundante como constante de residuos post cosechas lo que garantizan el suministro confiable y fiable para estos procesos de fermentación.

SEGUNDO. La mayor producción de biogás que se obtuvo derivado de los residuos de papa fue en concentraciones de estiércol del 10% lo que nos indica que tiene un equilibrio óptimo entre su carga orgánica y su actividad microbiana. Asimismo, se validó la viabilidad técnica para la obtención de biol mediante sistemas de baja complejidad tecnológica, logrando un rendimiento volumétrico significativo que garantiza su aplicabilidad como biofertilizante líquido.

TERCERO. Se identificó que nuestro biol derivado de los residuos de papa presenta una composición equilibrada de nutrientes, incluso tiene una baja presencia de inhibidores microbianos y por último tiene una concentración adecuada de macro y micronutrientes esenciales. Esto logra que sea apto para su uso agronómico bajo condiciones controladas.

CUARTO. Se establece que la concentración de biol al 3% generada por residuos de papa fue la más efectiva en la promoción de germinación y desarrollo de las plántulas dentro de las pruebas de germinación de semillas de tomate y quinua. Por el contrario, hubo un comportamiento inhibitorio en concentraciones superiores al 10% lo que nos indica la importancia de la dosificación correcta para evitar los efectos fitotóxicos.

QUINTO. Dentro de la producción de biogás mayoritaria a partir de los residuos de papa y tomate, se afirma que los residuos de papa son los que generaron un volumen significativamente superior al biogás generador por los residuos de tomate, lo que refuerza su idoneidad como sustrato preferente en sistemas de digestión anaerobia artesanales para la producción conjunta de energía y fertilizante líquidos.

5. RECOMENDACIONES

- Desarrollar un protocolo técnico estandarizado para la recolección, pretratamiento y fermentación de los residuos de papa, buscando así una optimización de la relación carbono/nitrógenos y reducir los tiempos que demorar el proceso, para facilitar la adopción de esta técnica por parte de los pequeños o medianos agricultores de Caylloma.

- Realizar esto en condiciones óptimas y controladas, presentando especial atención a la temperatura, tiempo de retención de hidráulica y la relación carbono/nitrógeno, con el fin de mejorar la estabilidad y concentración de nutrientes en el fertilizante líquido.

- Realizar un ACV para poder cuantificar los beneficios ambientales netos (en términos de reducción de GEI y mejora de la salud del suelo) de la implementación de esta tecnología en comparación con las prácticas actuales de manejo de residuos.

- Implementar ensayos agronómicos a escala real para determinar las dosis y frecuencias óptimas, asimismo, es importante capacitar a los agricultores para que ellos puedan realizar la producción y el manejo del fertilizante de manera adecuada en diversos cultivos.

- Optimizar el proceso para poder realizar experimentos que evalúen pretratamientos físicos (trituración) o químicos (ajuste de pH inicial) de los residuos de papa para acelerar la hidrólisis y aumentar aún más el rendimiento de biogás.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Gerencia Regional Agricultura Arequipa. Campañas Agrícolas. [Online].; 2024 [cited 2024 Noviembre 14. Available from: https://www.agroarequipa.gob.pe/index.php/campanas-agricolas-2015-al-2023.

2. Arequipa. GRA. Estadística Agrícola. AgroArequipa. [Online].; 2016 [cited 2024 Octubre 21. Available from: https://www.agroarequipa.gob.pe/index.php/agricol/a.

3. Ministerio del Ambiente. Anuario de Estadísticas Ambientales. [Online].; 2016 [cited 2024 Noviembre 14. Available from: https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1416/.

4. CA. TH. Evaluación de las propiedades del suelo por incorporación de nutrientes y materia orgánica proveniente de los residuos sólidos orgánicos agrícolas del mercado Metropolitano - I etapa Andrés Avelino Cáceres y su efecto en el cultivo del Raphanus sativus (r (Tesis) , editor. Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín; 2019. Disponible en: http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/8472

5. MIDAGRI. Decreto Supremo N.º 006-2024. 6 de junio de 2024. por el que se aprueba el Reglamento de Gestión Ambiental del Sector Agrario y de Riego. Disponible en: https://www.gob.pe/institucion/midagri/normas-legales/5648253-006-2024-midagri.

6. Peru GD. Decreto de Urgencia N.º 013-2022. 19 de mayo de 2022. que dicta medidas extraordinarias para facilitar y garantizar el abastecimiento del fertilizante nitrogenado Urea en el marco del próximo inicio de la Campaña Agrícola 2022-2023 como consecuencia de la escasez mundial de dicho insumo a raíz del escenario. Disponible en: https://busquedas.elperuano.pe/dispositivo/NL/2068629-2

7. Reyes Chávez JM BRS. Estimación del potencial energético técnico a partir de biomasa residual agroindustrial y pecuario en el Perú. Revista de Innovación y

Transferencia Productiva. 2022. Disponible en: https://doi.org/10.54353/ritp.v3i1.e004

8. Solano SVV, Arancibia MEC. Fertilizantes en la producción agrícola: un análisis de la percepción de uso. 2024. Disponible en: https://doi.org/10.19053/uptc.01203053.v43.n78.2024.17532

9. Deublin D SA. Biogas from waste and renewable resources. Federal Republic of Germany: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. 2008.

   Disponible en: https://doi.org/10.1002/9783527632794?urlappend=%3Futm_source%3Dresearchgate.net%26utm_medium%3Darticle

10. Jinsong Liang MNea. Promising biological conversion of lignocellulosic biomass to renewable energy with rumen microorganisms: a comprehensive review. Elsevier. 2020 Diciembre. Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110335

11. Atiyeh RM, et al. Influence of earthworm-processed pig manure on the growth and yield of greenhouse tomatoes. Elsevier. 2000 Diciembre; 75(3). Disponible en: https://doi.org/10.1016/S0960-8524(00)00064-X

12. Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI). BIOL: el método artesanal preventivo que promueve Minagri para mejorar el rendimiento y calidad de los productos agropecuarios. 2020. Disponible en: https://www.gob.pe/institucion/midagri/noticias/78089-biol-el-metodo-artesanal-preventivo-que-promueve-minagri-para-mejorar-el-rendimiento-y-calidad-de-los-productos-agropecuarios

13. DA. CL. Producción de biogás y biol en biodigestores Batch a partir de residuos agropecuarios pre-tratados con la técnica de bokashi (Tesis) , editor. Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú; 2019. Disponible en: https://hdl.handle.net/20.500.12996/4131

14. Adrian. PMM. Estudio para la optimización de parámetros para la generación de biogás en una planta tipo HIGH PERFORMANCE TEMPERATURE

CONTROLED - HPTC de doble cámara hidrolítica a partir de desechos de camal y estiércol de vacunos en el fundo la católica de majes (Tesis) , editor. Arequipa: Universis Catolica de Santa Maria; 2016. Disponible en: https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/7311

15. Philouwwarthanawong T,&RN. Liquid organic fertilizer production for growing vegetables under hydroponic condition. International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture. 2019; 8(4). Disponible en: https://doi.org/10.1007/s40093-019-0257-7

16. Gallegos Llerena RA, et al. Evaluación del efecto de diferentes proporciones de componentes en la producción de biol sobre biogás utilizando residuos vegetales recolectados de parques de Arequipa (Tesis) , editor. Arequipa: Universidad Católica de Santa María; 2019. Disponible en: https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/9667

17. TD. AV. roducción de biogás y biol a partir de los residuos de la pulpa de café mediante un biodigestor artesanal en el distrito de Milpuc, provincia de Rodríguez de Mendoza, departamento de Amazonas (Tesis) , editor. Amazonas: Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas; 2022. Disponible en: https://hdl.handle.net/20.500.12394/11551

18. CA. RL. Efecto de la adición de tres abonos orgánicos líquidos sobre la disponibilidad de nutrientes de tres fuentes de materia orgánica (animal, vegetal y mixta) en el suelo sobre el cultivo de pimiento (Capsicum annuum L.) (Tesis) , editor. Arequipa: Universidad Católica de Santa María; 2024. Disponible en: https://hdl.handle.net/20.500.12920/13827

19. DL. RZ. Caracterización de residuo orgánico y biofertilizante derivados de Hermetia illucens y su respuesta en frijol (Phaseolus vulgaris) bajo condiciones de invernadero en Huasacache-Arequipa (Tesis) , editor. Arequipa: Universidad Católica de Santa María; 2023. Disponible en: https://hdl.handle.net/20.500.12920/13332

20. Allouzi MMA ASKZSCSACS. Liquid biofertilizers as a sustainable solution for agriculture. Heliyon. 2022 Diciembre; 8(12). Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e12609

21. Reynoso Zarate A CdlCRea. Manual Técnico para la producción de biofertilizante líquido acelerado. 1st ed. Eliana Alviárez Gutierrez DS, editor. Lima: Instituto Nacional de Innovación Agraria - INIA; 2022. Disponible en: https://test-assets-opsaa.iica.int/storage/resource/2024/11/158e5e44ee1a208f7e521e84a43f2b99.pdf

22. CC. ZB. Batch process design: an overview from control (Tesis) , editor. Medellin: Universis Nacional de Colombia ; 2025. Disponible en: https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/55788

23. Mendizábal Pereira MF HEH. CONTROL DE PROCESOS EN OPERACIÓN LOTE EN REACTORES DE TANQUE AGITADO PARA FERMENTACIÓN. Jovenes en la Ciencia. 2018 Noviembre; 4(1). Disponible en: https://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/2629

24. Bukhtiyarova MV NABG. Comparative Study of Batch and Continuous Flow Reactors in Selective Hydrogenation of Functional Groups in Organic Compounds: ¿What Is More Effective? International Journal of Molecular Sciences. 2023 Setiembre; 24(18). Disponible en: https://doi.org/10.3390/ijms241814136

25. Chong Hock S, et al. Fabricación continua frente a fabricación por lotes: beneficios, oportunidades y desafíos para fabricantes y reguladores. Revista de la Iniciativa de Genéricos y Biosimilares. 2021 Enero; 10(1). Disponible en: 10.5639/gabij.2021.1001.004

26. Méndez SCA CJGIHIFM. State-of-the-art review of optimization methods for short-term scheduling of batch processes. Elsevier. 2006 Mayo; 30(6-7). Disponible en: 10.1016/j.compchemeng.2006.02.008.

27. Flachsbarth I,SS,LJea. Rural structural change, poverty and income distribution: evidence from Peru. Springer Nature. 2024 Julio; 16. Disponible en: https://doi.org/10.1007/s10888-018-9392-z

28. Yang O PSIM. Comparison between Batch and Continuous Monoclonal Antibody Production and Economic Analysis. American Chemical Society. 2019 Enero; 58(15). Disponible en: 10.1021/acs.iecr.8b04717.

29. Wani T, et al. A Review on the use of High-Density Polyethylene (HDPE) in Concrete Mixture. International Journal of Engineering Research & Technology. 2020 Mayo; 9(5). Disponible en: 10.17577/IJERTV9IS050569.

30. Condori G VG. Obtención de combustibles sintéticos a partir de residuos de polietileno de alta densidad (HDPE) Mediante Simulación en Aspen Plus ®Obtaining synthetic fuels from high-density polyethylene (HDPE) waste Through Simulation in Aspen Plus ®. Revista Multidisciplinar Epistemología de las Ciencias. 2025 Marzo; 2(1). Disponible: 10.71112/8p1egg26.

31. M ZJ. Bioreactor Engineering. Elsevier. 2011; 2(2). Disponible en: 10.1016/B978-0-08-088504-9.00097-0.

32. Peleg M, et al. The Arrhenius Equation Revisited. 2012 Junio; 52(9). Disponible en: 10.1080/10408398.2012.667460.

33. Álvarez ÁARyH. Escalamiento de Procesos Químicos y Bioquímicos basado en un Modelo Fenomenológico. SciELO. 2011; 22(6). Disponible: 10.4067/S0718-07642011000600005

34. Grober MPyH. Diseño e implementación de un sistema de riego mediante una red inalámbrica utilizando XBEE, arduino y aplicación de monitoreo Majes - Arequipa (Tesis) , editor. Arequipa: Universidad Católica de Santa María; 2021. Disponible en: https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/11124

35. Khand SK GBNSGV. Anaerobic Bioreactors/Digesters: Design and Development. Elsevier. 2017; 1. Disponible en: https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63665-2.00010-2

36. Campaña DH,BP,AA,&FS. Determinación del tiempo de retención en un reactor anaeróbico para optimizar la generación de biogás a partir de la digestión de barros activados residuales. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. 2011; 15. Disponible en: http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/101803

37. Díaz-Báez MCM,EVSES&MPFF. Digestión anaerobia: una aproximación a la tecnología. (Tesis) , editor. Bogota: Universidad Nacional de Colombia; 2002. Disponible en: https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/49691

38. Gallardo Izquierdo A, et al. Aprovechamiento energético de residuos sólidos. I UJ, editor. Espana : Union de Editoriales Universitarias Espanolas; 2019. Disponible en: https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=729426v

39. Ricardo camacho muñoz, et al. BIODEGRADACIÓN ANAEROBIA DE UN MATERIAL BIODEGRADABLE BAJO DIGESTIÓN ANAEROBIA TERMOFILA. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial. 2014 Diciembre; 12(2).

40. Lyu Z SNATWW. Methanogenesis. Current Biology. 2018 Julio; 28(13). Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.cub.2018.05.021

41. Montenegro Ortiz GARCMA. Efecto de la temperatura y el tiempo de retención hidráulica en la producción de biogás en una planta piloto de digestión anaerobia (Tesis) , editor. Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Peru; 2019. Disponible en: http://hdl.handle.net/20.500.12894/7331

42. Kouzi AI PMKM. Evaluation of the factors limiting biogas production in full-scale processes and increasing the biogas production efficiency. Springer Nature. 2020 Mayo; 27. Disponible en: https://doi.org/10.1007/s11356-020-09035-1

43. Avalos V. Energías Renovables y las oportunidades del Biogás en Chile. Seminario, Energías Renovables para el Sector Agroalimentario: Las oportunidades del biogás. Santiago, Chile. Ministerio de Energía, 2012.

44. Burbano Cendales AM. Utilización del metano generado en un reactor anaerobio como fuente de energía en una industria de gaseosas. 2006.

45. Han Y GHTW. Reversibility of propionic acid inhibition to anaerobic digestion: Inhibition kinetics and microbial mechanism. Elsevier. 2020 Septiembre; 255. Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126840

46. Zalduegui PC. Bioquímica de las fermentaciones. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid. Disponible en: https://oa.upm.es/55235/1/FERMENTACIONES.pdf

47. Santamaría P, et al. Influencia de la temperatura en la fermentación alcohólica. Rioja Udl, editor. Bilbao: Instituto Nacional de Investigacion y Tecnologia Agraria y Alimentaria; 2024. Disponible en: https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/110328.pdf

48. Jara-Samaniego JGJ&CA. Elaboración y caracterización de bioles de residuos orgánicos. SciELO. 2021 Julio; 22(45). Disponible en: http://dx.doi.org/10.15517/isucrv2245.46013

49. Vasconcelos JNd. Chapter 15 - Ethanol Fermentation. In Vasconcelos JNd. Sugarcane. Brazil; 2015. p. 311-340. Disponible en: https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802239-9.00015-3

50. Arias A, et al. Lignin as a renewable resource for bio-oil and oligomers production. An environmental perspective. Elsevier. 2025 Mayo; 38. Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.eti.2025.104192

51. Ramón Delanoy CMEYH. Heavy Metals in Agricultural Soils of San Francisco de Macorís and La Vega, Dominican Republic. Journal of Geoscience and Environment Protection. 2022 Octubre; 10(10). Disponible en : https://shorturl.at/ZZhL0

52. Jiang Y, et al. Inhibition of volatile fatty acids on methane production kinetics during dry co-digestion of food waste and pig manure. Elsevier. 2018 Septiembre; 79. Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.07.049

53. Ewa Wnuk AWAB. Effect of lead and chloride ions on methane production in arable soils. International Agrophysics. 2020 Febero; 20. Disponible en: https://doi.org/10.31545/intagr/118096v

54. Yuewen Zhao, et al. Anaerobic oxidation of methane driven by different electron acceptors: A review. Elsevier- Science of The Total Environment. 2024 Octubre; 946. Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.174287

55. Yuchao Zhao GZ. Decreasing ruminal methane production through enhancing the sulfate reduction pathway. Animal Nutrition. 2022 Junio; 9. Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.aninu.2022.01.006

56. Rostocki A, et al. Use of Biostimulants in Energy Crops as a New Approach for the Improvement of Performance Sequestration CO2. B: Energy and Environment. 2024 Junio; 17(12). Disponible en: 10.3390/en17122881.

57. Dida G. Biotechnology towards energy crops. CABI Agriculture and Bioscience. 2024 Mayo; 5. Disponible en : 10.1186/s43170-024-00245-y. Disponible en : 10.1186/s43170-024-00245-y.

58. Roberta Bulgari GFAF. Biostimulants Application in Horticultural Crops under Abiotic Stress Conditions. Toward a Sustainable Agriculture Through Plant Biostimulants: From Experimental Data to Practical Applications. 2019 Junio; 9(6). Disponible en: https://doi.org/10.3390/agronomy9060306

59. Franzoni G, Cocetta G, Prinsi B, Ferrante A, Espen L. Biostimulants on Crops: Their Impact under Abiotic Stress Conditions. Feature Papers in Horticulturae in 2022. 2022 Febrero; 8(3). Diponible en: https:// doi.org/10.3390/horticulturae8030189

60. Food and Agriculture Organization of the United Nations. The State of Food and Agriculture 2019 Marco V. Sánchez Cantillo AC, editor. Roma: The Publishing Group (OCCP); 2019. Disponible en: 10.4060/CA6030EN.

61. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). BOLETÍN AGROCLIMÁTICO MENSUAL DZ6 Lima: MINAM; 2022. Disponible en: https://www.senamhi.gob.pe/load/file/04005SENA-45.pdf

62. Sandra Knapp IEP. The Tomato (Solanum lycopersicum L., Solanaceae) and Its Botanical Relatives. In Mathilde Causse JGMBMZ. The Tomato Genome.: Springer Berlin, Heidelberg; 2016. p. 7-21.

63. Razifard H, et al. Genomic Evidence for Complex Domestication History of the Cultivated Tomato in Latin America. Molecular Biology and Evolution. 2020 Abril; 37(4). Disponible en: https://doi.org/10.1007/978-3-662-53389-5_2

64. Integrated Taxonomic Information System. Lycopersicon esculentum var. cerasiforme. [Online].; 2025 [cited 2025 Octubre 14. Available from: https://itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=TSN&search_value=529043#null.

65. Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. Análisis de Mercado - Papa 2020 Lima: Sierra y Selva Exportadora; 2020. Disponible en: https://repositorio.midagri.gob.pe/handle/20.500.13036/841

66. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Good Agricultural Practices Wilfried Baudoin ANASAHDG, editor. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations Plant Production and Protection Division; 2017. Disponible en: https://shorturl.at/WsFIq

67. EURICO. Solanum tuberosum L. [Online].; 2025 [cited 2025 Octubre 14. Available from: https://www.gbif.org/species/2930262.

68. Fischerv G. Agronomía Colombiana. SciELO. 2010 Abril; 28(1). Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-99652010000100001

69. Gino Delices R, et al. Biogeography of tomato Solanum lycopersicum var. cerasiform (Solanaceae) in its center of origin (South America) and domestication (Mexico). International journal of tropical Biology and Conservation. 2019 Septiembre; 67(4). Disponible en: http://dx.doi.org/10.15517/rbt.v67i4.33754

70. Peralta IE, Spooner DM. Classification of wild tomatoes: a review. CONICET. 2000; 28(1): p. 45-54. Disponible en: https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/152176

71. M Canelo, Marruffo V, et al. Planeamiento estratégico de la papa (Tesis(, editor. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú; 2012. Disponible en: http://hdl.handle.net/20.500.12404/8741

72. Washington Alfredo Camacho Villota, et al. Medición de la productividad en la actividad agrícola. JOURNAL OF SCIENCE AND RESEARCH. 2020 Noviembre; 5. Disponible en: https://doi.org/10.5281/zenodo.4725768

73. Abdallah Alaoui, et al. Visual assessment of the impact of agricultural management practices on soil quality. Agronomy Journal. 2020 Agosto; 12(4). Disponible en: https://doi.org/10.1002/agj2.20216

74. Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI). Producción Agroindustrial Alimentaria. [Online].; 2024 [cited 2025 Septiembre 30. Available from: https://siea.midagri.gob.pe/portal/publicacion/boletines-anuales/8-agroindu.

75. Francisco B. Galarza JGD. Total Factor Productivity in the Peruvian Agriculture: Estimation and Determinants. Journal Economia. 2015 Diciembre; 38(76). Disponible en: https://doi.org/10.18800/economia.201502.003

76. Medina Reyes JE. Análisis de factibilidad aplicado a una planta de biorefinación por conversión hidrotermal HTC de la biomasa residual de la papa, para la obtención de bioproductos. Maestria) (d, editor. Colombia: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.; 2019. Disponible: http://repositorio.uptc.edu.co/handle/001/3574

77. Magallanes P, et al. Starch Structure Influences Its Digestibility: A Review. Journal of Food Science. 2017 Septiembre; 82(9). Disponible en: 10.1111/1750-3841.13809.

78. Khaleel Jameel MAMHSAAjMHGMNSAMLSkMea. Biogas: Production, properties, applications, economic and challenges: A review. Results in Chemistry. 2024 Enero; 7. Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.rechem.2024.101549

79. Luis Arturo Gil Ramírez, et al. Biofertilizante "biol": caracterización física, química y microbiológica. Revista de Investigacion en Ciencias Agronomicas y Veterinaria, ALFA. 2023 Mayo; 7(20). Disponible en: https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v7i20.219

80. Wu D. Recycle Technology for Potato Peel Waste Processing: A Review. Procedia Environmental Sciences. 2016 Febrero; 31. Disponible en: 10.1016/j.proenv.2016.02.014.

81. Miramontes Martínez LR. Diseño de un proceso para la producción de energía y biofertilizante a partir de residuos sólidos orgánicos. Doctorado) (d, editor.

Monterrey: Universidad Autonoma de Nuevo Leon; 2020. Disponible en: http://eprints.uanl.mx/id/eprint/21025

82. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Guia Ambiental para el Cultivo de la Papa Artega AD, editor. Colombia: Fedepapa; 2004. Disponible en: https://economiacircular.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2023/11/Guia-Ambiental-para-el-cultivo-de-la-papa.pdf

83. Cuellar Condori NESARA. Manual para la valorización de residuos agrícolas y pecuarios altoandinos para la producción de biofertilizantes Quispe-Apaza CS, editor. Lima: Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA); 2025. Disponible en: http://hdl.handle.net/20.500.12955/2870

84. Marcela Calabi-Floody JMCRLMCMHMDMdlLM. Chapter Three - Smart Fertilizers as a Strategy for Sustainable Agriculture. Advances in Agronomy. 2018; 147. Disponible en: https://doi.org/10.1016/bs.agron.2017.10.003

85. Ginés Navarro García SNG. Fertilizantes: Química y Acción. 2nd ed. Espana: Ediciones Mundi-Prensa; 2023. Disponible en: https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=981050

86. Pérez W, Arévalo Y, Palomino L, Quintanilla J, Ortiz L&DS. Manual de producción de enmiendas orgánicas para restablecer la fertilidad del suelo. 1st ed. Torreblanca EEL, editor. Lima: Instituto Nacional de Innovación Agraria – INIA Equipo Técnico de Edición y Publicaciones; 2022. Disponible en: https://hdl.handle.net/20.500.12955/2030

87. Carrasco J AyAC. Manual de buenas prácticas y lecciones aprendidas para adaptación al cambio climático. Para la agricultura de secano de la Región de O´Higgins. 1st ed. Jorge Carrasco Jimenez PARCAA, editor. Santiago: Instituto de Investigacion Agropecuarias (INIA); 2022. Disponible en: https://hdl.handle.net/20.500.14001/68837

88. Zegers Müller, et al. Principales prácticas para la transición agroecológica en Magallanes Punta Arenas: Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA); 2003. Disponible en: http://hdl.handle.net/20.500.14001/6964

89. Szilágyi Á, et al. A comparative analysis of biogas production from tomato bio-waste in mesophilic batch and continuous anaerobic digestion systems.; 2021. Disponible en: 10.1371/journal.pone.0248654.

90. J H Falls and S A Siegel. Types of Fertilizer Materials. Encyclopedia of Analytical Science. 2005 Diciembre. Disponible en: 10.1016/B978-0-12-409547-2.00142-6.

91. Ministro de Transportes y Comunicaciones. Decreto Supremo N.º 057-2004-PCM. 24 de julio de 2004. aprueba el Reglamento de la Ley N.º 27314, Ley General de Residuos Sólidos. Disponible en: https://www.gob.pe/institucion/pcm/normas-legales/2260660-057-2004-pcm

92. Gobierno Regional Arequipa. Ordenanza Regional N.º 487-AREQUIPA. 15 de noviembre de 2022. aprueba la prohibición de la quema de rastrojos, paja y granza provenientes de la actividad agrícola, en los campos de cultivo y demás zonas de la Región Arequipa. Disponible en: https://www.gob.pe/institucion/regionarequipa/normas-legales/3664666-487-arequipa

93. Zhao P, et al. Potato (Solanum tuberosum L.) tuber-root modeling method based on physical properties. National Library of Medicine. 2020 Septiembre. Disponible en: 10.1371/journal.pone.0239093.

94. Sainz SG. Elaboración de un biodigestor a escala de laboratorio (Tesis) , editor. La Habana: Universidad de Ciencias Pedagógicas “Enrique José Varona”; 2020. Disponible en: 10.13140/RG.2.2.33561.03681.

95. Mata Alvarez J DMP. A critical review on anaerobic co-digestion achievements between. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2014 Mayo; 36.

96. Ana r. Prazares FC. Cheese whey management: A review. Journal of Environmental Management. 2012 Noviembre; 110.

97. D Arapoglou TV. Ethanol production from potato peel waste (PPW). Waste Management. Octubre 2010; 30(10).

98. INACAL. ALCANCE DE LA ACREDITACIÓN DE LABORATORIOS DE ENSAYO. ACREDITACIÓN. Arequipa: UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA, Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad; 2024. Disponible en: https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2919791/2826374-1-ucsm-reduccion-total-exp-00325-2024-da-e.pdf?v=1732045745

99. Fernandez Delgado M. Obtención de fertilizantes líquidos a partir de material bioestabilizado (Tesis) , editor. Valladolid: Universidad de Valladolid; 2022. Disponible en: https://doi.org/10.35376/10324/55127

100. Universidad Catolica de Santa Maria. Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad. [Online].; 2025 [cited 2024 Octubre 25. Available from: https://ucsm.edu.pe/laboratorio-de-control-de-calidad/.

101. Davies R DSANR. Germination testing: procedures and evaluation. Royal Botanic Gardens, Kew. 2015; 13. Disponible en: 10.13140/RG.2.2.29338.85440

102. Khodarahmpour Z. Effects of NaCl salinity on maize (Zea mays L.) at germination and early seedling stage. African Journal of Biotechnology. 2012 Enero. Disponible en: https://doi.org/10.5897/AJB11.2624

103. Alejandro Anaya-Durand HPF. Scaling-up, the art of chemical engineering. Tecnologia, Ciencia y Educacion. 2008 Junio; 23(1). Disponible en: http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48223105

104. Castellanos RAG. Principios Basicos de Escalado Matanzas: Roberto A. Gonzales Castellanos; 2000. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/325908683_Principios_Basicos_de_Escalado

105. Maryam Sarkhosh N, et al. Application of genetic algorithms for pixel selection in multivariate image analysis for a QSAR study of trypanocidal activity for quinone compounds and design new quinone compounds. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems. 2014 Deciembre; 139. Disponible en:: 10.1016/j.chemolab.2014.09.004.v

106. Ostertagová E OOKJ. Methodology and Application of the Kruskal-Wallis Test. Trebuňa F, editor. Suiza: Trans Tech Publications; 2014. Disponible en: https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.611.115

107. Mitchell J. Barnett SDVKEJI. Multiple comparisons: To compare or not to compare, that is the question. Research in Social and Administrative Pharmacy. 2022 Febrero; 18(2). Disponible en: 10.1016/j.sapharm.2021.07.006

108. Peng RD. R Programming Canada: Leanpub; 2022. Disponible en: http://leanpub.com/rprogramming

109. Mahapatra A MBmA. Multiple comparison test by Tukey's honestly significant difference (HSD): Do the confident level control type I error. Maths Journal. 2020 Diciembre; 6(1). Disponible en: 10.22271/maths.2021.v6.i1a.636.

110. Hernández-Rojas, et al. FERMENTACIÓN ANAEROBIA PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOHIDRÓGENO EN UN REACTOR UASB MEDIANTE LA RUTA DEL ETANOL. Revista Cubana de Quimica. 2015 Noviembre; 24(3). Disponible en: https://cubanaquimica.uo.edu.cu/index.php/cq/article/view/344

111. Rodriguez M, Florez, et al. ELEMENTOS ESENCIALES Y BENEFICIOSOS. In Guzmán M&LGJ. FERTI-RIEGO: TECNOLOGÍAS Y PROGRAMACIÓN EN AGROPLASTICULTURA. Madrid: CYTED; 2004. p. 25 -36. Disponible en: https://www.google.com/search?q=http://hdl.handle.net/10835/3133

112. Mylavarapu R, et al. Soil pH and Electrical Conductivity: A County Extension Soil Laboratory Manual. Journal of New and Revised Extension Publications from the University of Florida Institude of Food and Agricultural Sciences. 2020 enero; 2020(1). Disponible en: 10.32473/edis-ss118-2020

113. Garibay Valadez AR. Ácido sulfúrico como precursor de fertilizantes y la importancia de sus interacciones químicas para sus aplicaciones en la química (Tesis) , editor. Mexico: Universidad Nacional Autónoma de México; 2021. Diponible en: https://hdl.handle.net/20.500.14330/TES01000814616

114. Richa Kothari A, et al. Different aspects of dry anaerobic digestion for bio-energy: An overview. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2014 Noviembre; 39. Disponible en: 10.1016/j.rser.2014.07.011.

115. Samir Kumar Khanal T, et al. Chapter 11 - Biogas From Wastes: Processes and Applications Taherzadeh MJ, editor. Suecia: Elsevier; 2019. Disponible en: https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64200-4.00011-6

116. Nauman M, et al. Designing and performance evaluation of continuously stirring anaerobic batch reactor for biomethane production from biowaste. Biomass Conversion and Biorefinery. 2023 Abril; 14. Disponible en: https://doi.org/10.1007/s13399-023-04203-y

117. Herrera-Chalé FG RUERCECMG. Germinación de semillas de tomate y pepino con un biofertilizante obtenido de un bioreactor tipo Bokashi. Instituto Tecnológico Superior Progreso. 2019. Disponible en: https://www.ecorfan.org/proceedings/Proceedings_Ciencias_Agropecuarias_y_Biotecnologia_TI/Proceedings_Ciencias_Agropecuarias_y_Biotecnologia_TI_8.pdf

118. AGUADO GD, ULIARTE, et al. Effect of different concentrations of bioslurry on the germination and production of tomato seedlings (Solanum lycopersicum L.). Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín. 2023 Enero; 76(1). Disponible en 10.15446/rfnam.v76n1.99647.

119. Garnica I, et al. Prueba de tolerancia de quinoa (Chenopodium quinoa) a varios herbicidas. (Tesis , editor. Navarra: Universidad Pública de Navarra; 2017. Disponible en: https://academica-e.unavarra.es/handle/2454/27168

120. Henrry Quiñones Ramirez WTC y JJM. Evaluación de la calidad de un abono líquido producido vía fermentación homoláctica de heces de alpaca. SciELO-Ecología Aplicada. 2016 Julio; 15(2). Disponible en: 10.21704/rea.v15i2.753

121. Hans Ochsner, et al. Transferability of Results from Laboratory Scale to Biogas Plants at Real Scale. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias. 2021; 29(2). Disponible en: https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=10209332

122. Adrian Vollmer, et al. Closing the loop: Utilization of composted tomato plant residues as fertilizer and soil amendment. Scientia Horticulturae. 2025 Febrero; 342. Disponible en: 10.1016/j.scienta.2025.114028

123. Harsh Kumar S, et al. Selected fruit pomaces: Nutritional profile, health benefits, and applications in functional foods and feeds. Current Research in Food Science. 2024; 9.

124. Karel Diéguez-Santana ECAP. SISTEMAS DE BIOMASA Y BIOENERGÍA: CASOS EJEMPLARES EN IBEROAMÉRICA Ecuador: CYTED; 2021. Disponible en: 10.1016/j.crfs.2024.100791.

125. Pérez López E RBD. Estudio físico-químico para la formulación de un fertilizante líquido de composición completa. Magister Damaris Madrigal López ea, editor. Costa Rica: Universidad de Costa Rica; 2017.

126. Mattson MP. Hormesis defined. Ageing Research Reviews. 2008; 7(1). Disponible en: 10.1016/j.arr.2007.08.007.

127. J. SD. Elaboración artesanal de dos abonos líquidos fermentados y su efectividad en la producción de plántulas de chile habanero (Capsicum chinense Jacq) Mexico: Colegios de Postgraduados; 2010. Disponible en: http://www.biblio.colpos.mx:8080/xmlui/handle/10521/235

128. Laboratorio de Investigación y Servicios LABINVSERV-UNSA. Análisis Físico Químico de Estiércol Vacuno. UNSA, Arequipa; 2025.

7. ANEXOS

ANEXO 1. Producción y Rendimiento de los Cultivos de Caylloma

Tabla 20. Producción de los Cultivos de Papa y Tomate en la Provincia de Caylloma 2022

EJECUCION Y PERSPECTIVAS DE LA INFORMACION AGRICOLA CAMPAÑA AGRICOLA: 2021-2022																							
				SIEMBRAS						COSECHAS													
COD.CULTIVO	CULTIVO	VARIABLES	TOTAL EJEC.	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
14010010000	ACHITA, KIWICHA, O AMARANTO	Sup.Verde (ha.)		11.00	12.00	13.00	14.00	14.00	11.00	10.00	9.00											
		Siembras (ha.)	22.00	5.00	4.00	3.00	3.00		2.00	3.00	2.00											
		Cosechas (ha.)	12.00						5.00	4.00	3.00											
		Rendimiento (Kg./ha.)	3,766.67						3,600.00	3,800.00	4,000.00											
		Produccion (t.)	45.20						18.00	15.20	12.00											
		Precio Chacra (S/Kg.)	3.20						3.20	3.20	3.20											
14030020000	AJI	Sup.Verde (ha.)		15.00	40.00	70.00	90.00	90.00	90.00	90.00	75.00											
		Siembras (ha.)	90.00	15.00	25.00	30.00	20.00															
		Cosechas (ha.)	15.00								15.00											
		Rendimiento (Kg./ha.)	6,133.33								6,133.33											
		Produccion (t.)	92.00								92.00											
		Precio Chacra (S/Kg.)	6.00								6.00											
14030030000	AJO	Sup.Verde (ha.)		343.00	173.00	85.00	33.00	19.00	55.00	235.00	516.00											
		Siembras (ha.)	516.00			7.00	10.00	2.00	36.00	180.00	281.00											
15010080000	ALCACHOFA	Sup.Verde (ha.)		988.00	1,080.00	1,150.00	1,230.00	1,315.00	550.00	640.00	758.00											
		Siembras (ha.)	707.00	92.00	92.00	70.00	80.00	85.00	80.00	90.00	118.00											
		Produccion (t.)	6,205.00						2,137.00	2,150.00	1,918.00											
		Precio Chacra (S/Kg.)	2.15						2.15	2.15	2.15											
12010010000	ALFALFA	Sup.Verde (ha.)		9,220.00	9,250.00	9,350.00	9,255.00	9,237.00	9,286.00	9,310.00	9,323.00											
		Siembras (ha.)	2,748.00	415.00	350.00	385.00	335.00	292.00	339.00	334.00	298.00											
		Produccion (t.)	260,528.67						87,463.87	86,867.70	86,197.10											
		Precio Chacra (S/Kg.)	0.89						0.08	0.09	2.50											
14030050000	ARVEJA GRANO VERDE	Sup.Verde (ha.)		195.00	262.00	361.00	369.00	357.00	246.00	170.00	105.00											
		Siembras (ha.)	413.00	87.00	104.00	107.00	36.00	25.00	12.00	22.00	20.00											
		Cosechas (ha.)	306.00						123.00	98.00	85.00											
		Rendimiento (Kg./ha.)	5,692.18						5,749.80	5,617.73	5,694.65											
		Produccion (t.)	1,741.81						707.23	550.54	484.05											
		Precio Chacra (S/Kg.)	2.98						2.77	2.68	3.63											
14050010000	AVENA FORRAJERA	Sup.Verde (ha.)						28.00	98.00	113.00	123.00											
		Siembras (ha.)	123.00					28.00	70.00	15.00	10.00											
14050040000	CEBADA FORRAJERA	Sup.Verde (ha.)						14.00	63.00	82.00	92.00											
		Siembras (ha.)	92.00					14.00	49.00	19.00	10.00											
14070160000	CEBADA CERVECERA	Sup.Verde (ha.)																				
14010050000	CEBADA GRANO	Sup.Verde (ha.)						14.00	51.00	52.00	61.00											
		Siembras (ha.)	61.00					14.00	37.00	1.00	9.00											
14030100000	CEBOLLA	Sup.Verde (ha.)		470.00	570.00	602.00	510.00	358.00	238.00	233.00	273.00											
		Siembras (ha.)	783.00	200.00	160.00	90.00	60.00	58.00	30.00	95.00	90.00											
		Cosechas (ha.)	300.00						150.00	100.00	50.00											
		Rendimiento (Kg./ha.)	44,133.33						45,200.00	43,500.00	42,200.00											
		Produccion (t.)	13,240.00						6,780.00	4,350.00	2,110.00											
		Precio Chacra (S/Kg.)	0.55						0.60	0.45	0.60											
14030100103	CEBOLLA CABEZA AMARILLA	Sup.Verde (ha.)		80.00	200.00	240.00	190.00	160.00	160.00	120.00	120.00											
		Siembras (ha.)	190.00	30.00	120.00	40.00																
		Cosechas (ha.)	40.00							40.00												
		Rendimiento (Kg./ha.)	63,200.00							63,200.00												
		Produccion (t.)	2,528.00							2,528.00												
		Precio Chacra (S/Kg.)	1.10							1.10												
14030300000	CEBOLLA CHINA	Sup.Verde (ha.)		7.00	9.00	8.00	9.00	7.00	8.00	8.00	8.00											
		Siembras (ha.)	21.00	2.00	4.00	2.00	3.00	2.00	3.00	3.00	2.00											
		Cosechas (ha.)	7.00						2.00	3.00	2.00											
		Rendimiento (Kg./ha.)	31,857.14						32,500.00	32,000.00	31,000.00											
		Producción (t.)	223.00						65.00	96.00	62.00											
		Precio Chacra (S/Kg.)	0.60						0.60	0.60	0.60											
15010300000	FRESAS Y FRUTILLAS (SEMIPERM.)	Sup.Verde (ha.)		80.00	85.00	88.00	92.00	92.00	97.00	97.00	97.00											
		Siembras (ha.)	32.00	15.00	5.00	3.00	4.00		5.00													
		Produccion (t.)	41.00						26.00		15.00											
		Precio Chacra (S/Kg.)	3.50						3.50		3.50											
14060030000	FRIJOL GRANO SECO	Sup.Verde (ha.)		5.00	3.00	8.00	11.00	11.00	11.00	11.00	6.00											
		Siembras (ha.)	11.00		3.00	5.00	3.00															
		Cosechas (ha.)	5.00								5.00											
		Rendimiento (Kg./ha.)	4,000.00								4,000.00											
		Produccion (t.)	20.00								20.00											
		Precio Chacra (S/Kg.)	6.00								6.00											
14030360000	FRIJOL VAINITA	Sup.Verde (ha.)		118.00	76.00	63.00	65.00	41.00	35.00	46.00	71.00											
		Siembras (ha.)	136.00	32.00	16.00	7.00	10.00	8.00	10.00	18.00	35.00											
		Cosechas (ha.)	33.00						16.00	7.00	10.00											
		Rendimiento (Kg./ha.)	12,363.64						12,187.50	13,142.86	12,100.00											
		Produccion (t.)	408.00						195.00	92.00	121.00											

| | | |

		Cosechas (ha.)	65.00							65.00			
		Rendimiento (Kg./ha.)	6,200.00							6,200.00			
		Produccion (t.)	403.00							403.00			
		Precio Chacra (S/Kg.)	7.50							7.50			
13010340000	PERAL	Sup.Verde (ha.)		6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	
		Produccion (t.)	26.60						5.20	11.00	10.40		
		Precio Chacra (S/Kg.)	3.20						3.00	3.00	3.50		
15020110000	PEREJIL (ESPECIAL)	Sup.Verde (ha.)		19.00	19.00	22.00	24.00	26.00	26.00	26.00	28.00	28.00	
		Siembras (ha.)	9.00			3.00	2.00	2.00			2.00		
		Produccion (t.)	128.00						40.00		88.00		
		Precio Chacra (S/Kg.)	0.68						0.68		0.68		
14010090000	QUINUA	Sup.Verde (ha.)		835.00	675.00	520.00	290.00	195.00	147.00	137.00	157.00	157.00	
		Siembras (ha.)	372.00	115.00	60.00	105.00	10.00	20.00	12.00	20.00	30.00		
		Cosechas (ha.)	100.00						60.00	30.00	10.00		
		Rendimiento (Kg./ha.)	3,875.00						3,850.00	3,950.00	3,800.00		
		Produccion (t.)	387.50						231.00	118.50	38.00		
		Precio Chacra (S/Kg.)	3.20						3.20	3.20	3.20		
14020060000	SANDIA	Sup.Verde (ha.)			12.00	17.00	17.00	17.00	5.00				
		Siembras (ha.)	17.00		12.00	5.00							
		Cosechas (ha.)	17.00						12.00	5.00			
		Rendimiento (Kg./ha.)	34,564.71						34,300.00	35,200.00			
		Produccion (t.)	587.60						411.60	176.00			
		Precio Chacra (S/Kg.)	1.00						1.00	1.00			
14030210000	TOMATE	Sup.Verde (ha.)		264.00	262.00	270.00	293.00	288.00	248.00	255.00	257.00	257.00	
		Siembras (ha.)	470.00	85.00	68.00	60.00	50.00	25.00	45.00	75.00	62.00		
		Cosechas (ha.)	213.00						85.00	68.00	60.00		
		Rendimiento (Kg./ha.)	54,447.89						52,752.94	56,300.00	54,750.00		
		Produccion (t.)	11,597.40						4,484.00	3,828.40	3,285.00		
		Precio Chacra (S/Kg.)	1.17						1.20	1.20	1.10		
14010110000	TRIGO BLANDO	Sup.Verde (ha.)											
15010050000	TUNA	Sup.Verde (ha.)		1,262.00	1,262.00	1,262.00	1,262.00	1,262.00	1,262.00	1,262.00	1,262.00	1,262.00	
		Produccion (t.)	1,062.50						32.00	326.50	704.00		
		Precio Chacra (S/Kg.)	3.27						3.50	3.35	3.23		
15010350000	TUNA (PARA COCHINILLA)	Sup.Verde (ha.)		555.00	555.00	555.00	555.00	555.00	555.00	555.00	555.00	555.00	
		Produccion (t.)	81.30						30.40	26.40	24.50		
		Precio Chacra (S/Kg.)	63.74						70.00	60.00	60.00		
13020120000	VID	Sup.Verde (ha.)		682.00	682.00	682.00	682.00	682.00	686.00	686.00	686.00	686.00	
		Siembras (ha.)	9.00	5.00					4.00				
		Produccion (t.)	2,049.00						861.00	786.00	402.00		
		Precio Chacra (S/Kg.)	5.00						5.00	5.00	5.00		
14030220000	ZANAHORIA	Sup.Verde (ha.)		57.00	62.00	64.00	63.00	53.00	51.00	56.00	64.00	64.00	
		Siembras (ha.)	107.00	18.00	15.00	8.00	7.00	5.00	16.00	20.00	18.00		
		Cosechas (ha.)	43.00						18.00	15.00	10.00		
		Rendimiento (Kg./ha.)	35,060.47						36,200.00	38,133.33	28,400.00		
		Produccion (t.)	1,507.60						651.60	572.00	284.00		
		Precio Chacra (S/Kg.)	1.25						1.50	1.00	1.20		
14030230000	ZAPALLO	Sup.Verde (ha.)		184.00	315.00	433.00	503.00	496.00	384.00	289.00	176.00	176.00	
		Siembras (ha.)	524.00	150.00	138.00	118.00	80.00	10.00	8.00	15.00	5.00		
		Cosechas (ha.)	348.00						120.00	110.00	118.00		
		Rendimiento (Kg./ha.)	42,275.86						43,800.00	42,300.00	40,703.39		
		Produccion (t.)	14,712.00						5,256.00	4,653.00	4,803.00		
		Precio Chacra (S/Kg.)	1.10						1.20	0.78	1.30		

* Fuente: Gerencia Regional de Agricultura 2022

Tabla 21. Producción de los cultivos de papa y tomate en el Provincia de Caylloma 2024 a 2025

EJECUCION Y PERSPECTIVAS DE LA INFORMACION AGRICOLA																							
CAMPAÑA AGRICOLA:																							
2024-2025																							
														COSECHAS									
			SIEMBRAS																				
CULTIVO	VARIABLES	TOTAL EJEC.	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC				
ACHITA, KIWICHA, O AMARANTO	Sup.Verde (ha.)						2.00	2.00	4.00	4.00	5.00	3.00	3.00										
	Siembras (ha.)	5.00					2.00		2.00		1.00												
	Cosechas (ha.)	2.00										2.00											
	Rendimiento (Kg./ha.)	3,950.00										3,950.00											
	Produccion (t.)	7.90										7.90											
	Precio Chacra (S/Kg.)	4.20										4.20											
AJI	Sup.Verde (ha.)		3.00	8.00	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00	30.00	25.00	5.00											
	Siembras (ha.)	33.00	3.00	5.00	25.00																		
	Cosechas (ha.)	33.00								3.00	5.00	20.00	5.00										
	Rendimiento (Kg./ha.)	6,627.27								6,400.00	6,200.00	6,800.00	6,500.00										
	Produccion (t.)	218.70								19.20	31.00	136.00	32.50										
	Precio Chacra (S/Kg.)	6.77								6.00	6.00	7.00	7.00										
AJO	Sup.Verde (ha.)		1,039.00	764.00	397.00	98.00		72.00	377.00	714.00	986.00	1,196.00	1,356.00										
	Siembras (ha.)	1,356.00						72.00	305.00	337.00	272.00	210.00	160.00										
ALCACHOFA	Sup.Verde (ha.)		1,569.00	1,658.00	1,750.00	1,858.00	1,858.00	759.00	904.00	1,089.00	1,281.00	1,391.00	1,511.00										
	Siembras (ha.)	1,314.00	105.00	89.00	92.00	108.00		168.00	145.00	185.00	192.00	110.00	120.00										
	Produccion (t.)	13,132.29						2,057.68	2,067.78	2,075.02	1,277.76	2,657.80	2,996.25										
	Precio Chacra (S/Kg.)	2.20						2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20										
ALFALFA	Sup.Verde (ha.)		7,922.00	7,842.00	7,872.00	8,068.00	8,238.00	8,278.00	8,258.00	8,254.00	8,162.00	8,065.00	8,020.00										
	Siembras (ha.)	3,359.00	320.00	226.00	280.00	406.00	420.00	325.00	300.00	346.00	203.00	248.00	285.00										
	Sup Perdida (ha.)	1.00								1.00													
	Produccion (t.)	336,005.18						59,775.85	62,315.48	58,113.12	51,809.79	56,724.51	47,266.43										
	Precio Chacra (S/Kg.)	0.09						0.09	0.08	0.09	0.09	0.10	0.10										
ARANDANO	Sup.Verde (ha.)					14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00										
	Siembras (ha.)	14.00				14.00																	
ARVEJA GRANO SECO	Sup.Verde (ha.)					2.00	5.00	5.00	5.00	5.00	3.00												
	Siembras (ha.)	5.00				2.00	3.00																
	Cosechas (ha.)	5.00									2.00	3.00											
	Rendimiento (Kg./ha.)	7,674.00									7,665.00	7,680.00											
	Produccion (t.)	38.37									15.33	23.04											
	Precio Chacra (S/Kg.)	4.90									4.00	5.50											
ARVEJA GRANO VERDE	Sup.Verde (ha.)		205.00	275.00	336.00	353.00	351.00	227.00	101.00	70.00	71.00	57.00	56.00										
	Siembras (ha.)	402.00	98.00	92.00	92.00	37.00	13.00	10.00	12.00	14.00	18.00	5.00	11.00										
	Cosechas (ha.)	365.00						134.00	138.00	45.00	17.00	19.00	12.00										
	Rendimiento (Kg./ha.)	6,019.90						6,260.37	4,691.30	5,333.78	8,361.76	9,663.42	12,100.00										
	Produccion (t.)	2,197.27						838.89	647.40	240.02	142.15	183.61	145.20										
	Precio Chacra (S/Kg.)	3.57						4.00	2.93	3.96	3.60	3.36	3.50										
AVENA FORRAJERA	Sup.Verde (ha.)					58.00	170.00	170.00	186.00	212.00	233.00	111.00	63.00										
	Siembras (ha.)	233.00				58.00	112.00		16.00	26.00	21.00												
	Cosechas (ha.)	170.00										122.00	48.00										
	Rendimiento (Kg./ha.)	13,411.18										13,409.84	13,414.58										
	Produccion (t.)	2,279.90										1,636.00	643.90										
	Precio Chacra (S/Kg.)	0.25										0.25	0.25										
CEBADA FORRAJERA	Sup.Verde (ha.)					36.00	109.00	109.00	122.00	143.00	171.00	94.00	62.00										
	Siembras (ha.)	171.00				36.00	73.00		13.00	21.00	28.00												
	Cosechas (ha.)	109.00										77.00	32.00										
	Rendimiento (Kg./ha.)	12,335.78										12,324.68	12,362.50										
	Produccion (t.)	1,344.60										949.00	395.60										
	Precio Chacra (S/Kg.)	0.20										0.20	0.20										
CEBADA CERVECERA	Sup.Verde (ha.)																						

CEBADA GRANO	Sup.Verde (ha.)		9.00			56.00	70.00	70.00	70.00	70.00	81.00	34.00	11.00
	Siembras (ha.)	81.00				56.00	14.00				11.00		
	Cosechas (ha.)	70.00										47.00	23.00
	Rendimiento (Kg./ha.)	3,500.00										3,500.00	3,500.00
	Produccion (t.)	245.00										164.50	80.50
	Precio Chacra (S/Kg.)	2.50										2.50	2.50
CEBOLLA	Sup.Verde (ha.)		612.00	736.00	700.00	708.00	708.00	704.00	734.00	658.00	550.00	579.00	689.00
	Siembras (ha.)	1,931.00	112.00	220.00	180.00	196.00		216.00	210.00	120.00	112.00	245.00	320.00
	Cosechas (ha.)	1,242.00						220.00	180.00	196.00	220.00	216.00	210.00
	Rendimiento (Kg./ha.)	47,552.33						46,200.00	47,300.00	48,250.00	47,800.00	46,750.00	49,100.00
	Produccion (t.)	59,060.00						10,164.00	8,514.00	9,457.00	10,516.00	10,098.00	10,311.00
	Precio Chacra (S/Kg.)	0.83						0.58	0.98	1.05	1.08	0.68	0.65
CEBOLLA CABEZA AMARILLA	Sup.Verde (ha.)		100.00	140.00	100.00	40.00							
	Siembras (ha.)	100.00	60.00	40.00									
CEBOLLA CHINA	Sup.Verde (ha.)		7.00	8.00	9.00	9.00	10.00	9.00	10.00	8.00	7.00	8.00	9.00
	Siembras (ha.)	32.00	2.00	3.00	4.00	2.00	4.00	3.00	3.00	2.00	2.00	4.00	3.00
	Cosechas (ha.)	18.00						4.00	2.00	4.00	3.00	3.00	2.00
	Rendimiento (Kg./ha.)	31,611.11						31,200.00	31,800.00	32,100.00	31,500.00	31,200.00	32,050.00
	Produccion (t.)	569.00						124.80	63.60	128.40	94.50	93.60	64.10
	Precio Chacra (S/Kg.)	0.69						0.68	0.68	0.68	0.68	0.70	0.70
FRESAS Y FRUTILLAS (SEMIPERM.)	Sup.Verde (ha.)		73.00	75.00	78.00	78.00	82.00	82.00	85.00	87.00	87.00	87.00	87.00
	Siembras (ha.)	14.00		2.00	3.00		4.00		3.00	2.00			
	Produccion (t.)	104.61						19.53	6.65	10.48	16.25	23.76	27.94
	Precio Chacra (S/Kg.)	3.00						3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
FRIJOL GRANO SECO	Sup.Verde (ha.)								25.00	30.00	30.00	30.00	30.00
	Siembras (ha.)	30.00							25.00	5.00			
FRIJOL VAINITA	Sup.Verde (ha.)		183.00	189.00	173.00	165.00	175.00	159.00	175.00	170.00	155.00	145.00	142.00
	Siembras (ha.)	452.00	35.00	68.00	32.00	30.00	45.00	52.00	48.00	25.00	30.00	42.00	45.00
	Cosechas (ha.)	275.00						68.00	32.00	30.00	45.00	52.00	48.00
	Rendimiento (Kg./ha.)	11,831.09						11,850.00	12,250.00	12,350.00	11,850.00	11,400.00	11,650.00
	Produccion (t.)	3,253.55						805.80	392.00	370.50	533.25	592.80	559.20
	Precio Chacra (S/Kg.)	2.03						2.55	2.05	1.65	1.55	1.80	2.20
GRANADO	Sup.Verde (ha.)		125.00	125.00	125.00	125.00	125.00	125.00	125.00	125.00	125.00	125.00	125.00
	Produccion (t.)	3,008.40						434.40	2,574.00				
	Precio Chacra (S/Kg.)	1.50						1.50	1.50				
GUAYABO	Sup.Verde (ha.)		5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
	Siembras (ha.)	2.00	2.00										
	Produccion (t.)	44.20										21.90	22.30
	Precio Chacra (S/Kg.)	5.00										5.00	5.00
HABA GRANO SECO	Sup.Verde (ha.)			8.00	159.00	197.00	203.00	203.00	203.00	203.00	195.00	58.00	
	Siembras (ha.)	203.00		8.00	151.00	38.00	6.00						
	Cosechas (ha.)	203.00									8.00	137.00	58.00
	Rendimiento (Kg./ha.)	2,246.50									3,502.38	2,207.15	2,166.21
	Produccion (t.)	456.04									28.02	302.38	125.64
	Precio Chacra (S/Kg.)	5.10									3.00	5.14	5.47
HABA GRANO VERDE	Sup.Verde (ha.)		258.00	476.00	657.00	667.00	678.00	414.00	169.00	39.00	21.00	10.00	40.00
	Siembras (ha.)	617.00	167.00	218.00	181.00	10.00	11.00						30.00
	Cosechas (ha.)	668.00						264.00	245.00	130.00	18.00	11.00	
	Rendimiento (Kg./ha.)	9,459.43						10,413.48	9,057.67	8,942.15	7,438.89	4,930.00	
	Produccion (t.)	6,318.90						2,749.16	2,219.13	1,162.48	133.90	54.23	
	Precio Chacra (S/Kg.)	1.42						1.80	1.17	0.94	1.70	2.00	

| | | |

PACAE O GUABO	Sup.Verde (ha.)		12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00
	Produccion (t.)	29.00						8.00	11.00	10.00			
	Precio Chacra (S/Kg.)	4.40						4.50	4.46	4.25			
PALTO	Sup.Verde (ha.)		952.00	952.00	967.00	967.00	967.00	967.00	967.00	967.00	967.00	967.00	967.00
	Siembras (ha.)	15.00			15.00								
	Produccion (t.)	13,405.03						80.00	145.00	1,850.00	5,199.00	6,083.70	47.33
	Precio Chacra (S/Kg.)	4.34						4.50	5.00	4.97	4.50	3.99	3.21
PAPA (agrupa mejoradas y nativas)	Sup.Verde (ha.)		521.00	843.00	1,018.00	1,114.00	1,150.00	1,038.00	1,229.00	1,204.00	1,040.00	796.00	421.00
	Siembras (ha.)	2,407.00	161.00	394.00	343.00	216.00	191.00	225.00	460.00	180.00	125.00	30.00	82.00
	Cosechas (ha.)	1,831.00						337.00	269.00	205.00	289.00	274.00	457.00
	Rendimiento (Kg./ha.)	34,339.72						34,589.73	35,665.61	26,647.17	28,527.23	35,509.49	39,800.00
	Produccion (t.)	62,876.03						11,656.74	9,594.05	5,462.67	8,244.37	9,729.60	18,188.60
	Precio Chacra (S/Kg.)	1.02						0.36	0.81	1.11	1.23	1.25	1.32
PITAHAYA	Sup.Verde (ha.)		34.00	34.00	34.00	47.00	47.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00
	Siembras (ha.)	26.00				13.00		13.00					
	Produccion (t.)	165.18						49.50	115.68				
	Precio Chacra (S/Kg.)	3.40						2.00	4.00				
QUINUA	Sup.Verde (ha.)		1,114.00	839.00	642.00	379.00	276.00	171.00	99.00	171.00	421.00	684.00	1,017.00
	Siembras (ha.)	1,413.00	120.00	105.00	153.00	1.00	17.00			72.00	265.00	320.00	360.00
	Cosechas (ha.)	276.00						105.00	72.00		15.00	57.00	27.00
	Rendimiento (Kg./ha.)	3,261.27						4,050.00	3,980.00		4,100.00	1,514.04	1,500.00
	Produccion (t.)	900.11						425.25	286.56		61.50	86.30	40.50
	Precio Chacra (S/Kg.)	6.03						6.20	6.20		6.20	5.00	5.00
SANDIA	Sup.Verde (ha.)		3.00	12.00	17.00	20.00	20.00	17.00	8.00	3.00			
	Siembras (ha.)	20.00	3.00	9.00	5.00	3.00							
	Cosechas (ha.)	20.00						3.00	9.00	5.00	3.00		
	Rendimiento (Kg./ha.)	32,432.50						32,700.00	33,250.00	32,200.00	30,100.00		
	Produccion (t.)	648.65						98.10	299.25	161.00	90.30		
	Precio Chacra (S/Kg.)	1.03						1.00	1.00	1.00	1.20		
TOMATE	Sup.Verde (ha.)		314.00	302.00	245.00	211.00	235.00	261.00	295.00	310.00	327.00	323.00	287.00
	Siembras (ha.)	600.00	52.00	58.00	25.00	28.00	72.00	78.00	92.00	40.00	45.00	68.00	42.00
	Cosechas (ha.)	313.00						52.00	58.00	25.00	28.00	72.00	78.00
	Rendimiento (Kg./ha.)	48,035.46						49,300.00	47,200.00	46,500.00	48,100.00	47,800.00	48,500.00
	Produccion (t.)	15,035.10						2,563.60	2,737.60	1,162.50	1,346.80	3,441.60	3,783.00
	Precio Chacra (S/Kg.)	1.00						0.95	1.25	1.40	0.85	0.88	0.90
TUNA	Sup.Verde (ha.)		1,262.00	1,262.00	1,262.00	1,262.00	1,262.00	1,262.00	1,264.00	1,267.00	1,267.00	1,267.00	1,267.00
	Siembras (ha.)	5.00							2.00	3.00			
	Produccion (t.)	2,289.80						151.60	620.00	657.00	521.20	340.00	
	Precio Chacra (S/Kg.)	1.95						1.60	2.00	1.92	2.00	1.96	
TUNA (PARA COCHINILLA)	Sup.Verde (ha.)		595.00	620.00	629.00	629.00	629.00	629.00	634.00	634.00	634.00	654.00	658.00
	Siembras (ha.)	73.00	10.00	25.00	9.00				5.00			20.00	4.00
	Produccion (t.)	141.02						35.75	29.04	16.77	23.13	19.11	17.22
	Precio Chacra (S/Kg.)	307.18						240.00	330.00	330.00	330.00	330.00	330.00
VID	Sup.Verde (ha.)		1,234.00	1,264.00	1,334.00	1,480.00	1,500.00	1,515.00	1,530.00	1,535.00	1,535.00	1,547.00	1,552.00
	Siembras (ha.)	338.00	20.00	30.00	70.00	146.00	20.00	15.00	15.00	5.00		12.00	5.00
	Produccion (t.)	4,062.80						1,315.00	1,315.00		248.00	524.00	660.80
	Precio Chacra (S/Kg.)	3.96						4.50	4.50		1.20	2.50	4.00
ZANAHORIA	Sup.Verde (ha.)		5.00	6.00	7.00	7.00	9.00	12.00	10.00	7.00	7.00	8.00	7.00
	Siembras (ha.)	19.00		4.00	3.00		2.00	3.00	2.00			3.00	2.00
	Cosechas (ha.)	12.00							4.00	3.00		2.00	3.00
	Rendimiento (Kg./ha.)	44,645.83							46,200.00	44,100.00		45,200.00	42,750.00
	Produccion (t.)	535.75							184.80	132.30		90.40	128.25
	Precio Chacra (S/Kg.)	1.62							1.08	1.12		2.20	2.50
ZAPALLO	Sup.Verde (ha.)		401.00	513.00	583.00	545.00	465.00	447.00	435.00	375.00	345.00	255.00	145.00
	Siembras (ha.)	742.00	150.00	120.00	75.00	30.00	90.00	132.00	108.00	15.00			22.00
	Cosechas (ha.)	597.00						150.00	120.00	75.00	30.00	90.00	132.00
	Rendimiento (Kg./ha.)	46,737.69						49,300.00	47,900.00	45,800.00	48,500.00	46,300.00	43,200.00
	Produccion (t.)	27,902.40						7,395.00	5,748.00	3,435.00	1,455.00	4,167.00	5,702.40
	Precio Chacra (S/Kg.)	0.74						0.58	0.78	0.80	0.85	0.82	0.78

* Fuente: Gerencia Regional de Agricultura 2024 a 2025

Tabla 22. Producción de la campaña agrícola 2025 de siembras y cosechas en Arequipa

REGION AREQUIPA: AVANCE DE SIEMBRAS Y COSECHAS CAMPAÑA AGRICOLA 2024-2025

			SIEMBRAS					COSECHAS										
NOMBRE DEL CULTIVO	VARIABLES	TOTAL EJEC.	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
ACELGA	Sup.Verde (ha.)		28.00	22.00	26.00	30.00	32.00	40.00	37.00	32.00	20.00	19.00	21.00						
	Siembras (ha.)	108.00	9.00	11.00	10.00	13.00	13.00	17.00	8.00	8.00	5.00	9.00	5.00						
	Cosechas (ha.)	63.00						9.00	11.00	13.00	17.00	10.00	3.00						
	Rendimiento (Kg./ha.)	16,393.11						16,128.78	16,930.82	15,892.23	16,565.29	16,555.90	15,866.67						
	Produccion (t.)	1,032.77						145.16	186.24	206.60	281.61	165.56	47.60						
	Precio Chacra (S/Kg.)	1.33						1.27	1.31	1.32	1.31	1.42	1.52						
ACHITA, KIWICHA, O AMARANTO	Sup.Verde (ha.)					4.00	6.00	6.00	8.00	8.00	9.00	6.00	3.00						
	Siembras (ha.)	9.00				4.00	2.00		2.00		1.00								
	Cosechas (ha.)	6.00										3.00	3.00						
	Rendimiento (Kg./ha.)	3,033.33										3,533.33	2,533.33						
	Produccion (t.)	18.20										10.60	7.60						
	Precio Chacra (S/Kg.)	5.79										4.91	7.00						
AJI	Sup.Verde (ha.)		3.00	8.00	99.00	192.00	192.00	192.00	192.00	189.00	184.00	164.00	159.00						
	Siembras (ha.)	192.00	3.00	5.00	91.00	93.00													
	Cosechas (ha.)	33.00								3.00	5.00	20.00	5.00						
	Rendimiento (Kg./ha.)	6,627.27								6,400.00	6,200.00	6,800.00	6,500.00						
	Produccion (t.)	218.70								19.20	31.00	136.00	32.50						
	Precio Chacra (S/Kg.)	6.77								6.00	6.00	7.00	7.00						
AJO	Sup.Verde (ha.)		4,412.00	3,854.00	2,810.00	1,248.00	75.00	215.00	709.00	1,434.00	2,081.00	2,820.00	4,642.00						
	Siembras (ha.)	5,027.00	362.00	2.00	1.00	47.00	3.00	140.00	494.00	734.00	660.00	759.00	1,825.00						
	Cosechas (ha.)	45.00								9.00	13.00	20.00	3.00						
	Rendimiento (Kg./ha.)	12,923.53								17,450.00	16,783.77	8,057.50	15,056.67						
	Produccion (t.)	581.56								157.05	218.19	161.15	45.17						
	Precio Chacra (S/Kg.)	6.98								7.00	6.60	7.11	8.23						
ALBAHACA (ESPECIAL)	Sup.Verde (ha.)		15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00						
	Produccion (t.)	381.55						36.40	97.76	37.08	98.95	37.10	74.26						
	Precio Chacra (S/Kg.)	1.41						1.50	1.50	1.10	1.32	1.50	1.50						
ALCACHOFA	Sup.Verde (ha.)		2,120.00	2,220.00	2,312.00	2,420.00	2,433.00	830.00	1,018.00	1,255.00	1,453.00	1,563.00	1,683.00						
	Siembras (ha.)	1,454.00	110.00	100.00	92.00	108.00	13.00	178.00	188.00	237.00	198.00	110.00	120.00						
	Produccion (t.)	13,895.53						2,236.63	2,182.92	2,150.28	1,364.60	2,811.90	3,149.20						
	Precio Chacra (S/Kg.)	2.20						2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20						
ALFALFA	Sup.Verde (ha.)		35,648.00	35,533.00	35,483.00	35,171.00	35,426.00	35,427.00	35,412.00	35,393.00	35,237.00	35,108.00	34,950.00						
	Siembras (ha.)	4,578.00	418.00	346.00	431.00	523.00	544.00	440.00	509.00	484.00	226.00	316.00	341.00						
	Sup Perdida (ha.)	9.00							8.00	1.00									
	Produccion (t.)	1,169,400.41						203,985.95	201,639.76	205,754.44	195,496.97	193,475.14	169,048.16						
	Precio Chacra (S/Kg.)	0.14						0.13	0.13	0.13	0.14	0.16	0.16						
ALGODON TANGUIS	Sup.Verde (ha.)		25.00																
APIO	Sup.Verde (ha.)		81.00	84.00	91.00	93.00	91.00	92.00	110.00	104.00	95.00	94.00	69.00						
	Siembras (ha.)	293.00	26.00	29.00	27.00	28.00	27.00	30.00	44.00	25.00	22.00	20.00	15.00						
	Cosechas (ha.)	178.00						29.00	26.00	31.00	31.00	21.00	40.00						
	Rendimiento (Kg./ha.)	23,552.56						20,530.00	20,476.81	22,053.19	24,355.48	20,104.76	30,093.00						
	Produccion (t.)	4,192.36						595.37	532.40	683.65	755.02	422.20	1,203.72						
	Precio Chacra (S/Kg.)	1.31						1.21	1.23	1.10	1.29	1.44	1.50						
ARANDANO	Sup.Verde (ha.)					14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00						
	Siembras (ha.)	14.00				14.00													
ARROZ	Sup.Verde (ha.)			676.00	7,217.00	16,253.00	19,589.00	21,422.00	20,848.00	7,688.00	4,251.00	177.00	0.00						
	Siembras (ha.)	21,422.00		676.00	6,541.00	9,036.00	3,336.00	1,833.00											
	Sup Perdida (ha.)	275.00							178.00	97.00									
	Cosechas (ha.)	21,147.00							396.00	13,063.00	3,437.00	4,074.00	177.00						
	Rendimiento (Kg./ha.)	13,713.59							13,798.28	14,204.43	13,342.18	12,499.56	12,454.01						
	Produccion (t.)	290,001.20							5,464.12	185,552.45	45,857.06	50,923.21	2,204.36						
	Precio Chacra (S/Kg.)	1.72							1.71	1.61	1.78	1.61	11.70						
ARVEJA GRANO SECO	Sup.Verde (ha.)		15.00	3.00	3.00	5.00	8.00	8.00	8.00	12.00	12.00	40.00	40.00						
	Siembras (ha.)	48.00		3.00		2.00	3.00			4.00	3.00	33.00							
	Cosechas (ha.)	8.00									3.00	5.00							
	Rendimiento (Kg./ha.)	5,496.25									5,710.00	5,368.00							
	Produccion (t.)	43.97									17.13	26.84							
	Precio Chacra (S/Kg.)	4.88									4.00	5.44							

ARVEJA GRANO VERDE	Sup.Verde (ha.)		564.00	690.00	803.00	752.00	689.00	523.00	416.00	442.00	469.00	440.00	342.00
	Siembras (ha.)	1,779.00	260.00	265.00	239.00	136.00	120.00	104.00	137.00	177.00	145.00	119.00	77.00
	Cosechas (ha.)	1,106.00						270.00	244.00	151.00	118.00	148.00	175.00
	Rendimiento (Kg./ha.)	7,873.27						7,613.30	6,473.32	7,993.87	8,624.24	8,654.70	8,955.03
	Produccion (t.)	8,707.84						2,055.59	1,579.49	1,207.07	1,017.66	1,280.90	1,567.13
	Precio Chacra (S/Kg.)	3.35						3.44	2.95	3.62	3.31	3.40	3.42
AVENA FORRAJERA	Sup.Verde (ha.)		9.00	25.00	41.00	172.00	310.00	350.00	381.00	398.00	375.00	181.00	90.00
	Siembras (ha.)	483.00	7.00	16.00	18.00	138.00	146.00	54.00	48.00	35.00	21.00		
	Cosechas (ha.)	378.00						14.00	17.00	18.00	44.00	194.00	91.00
	Rendimiento (Kg./ha.)	13,637.43						16,781.43	16,491.18	17,186.11	14,291.36	12,587.62	13,840.55
	Produccion (t.)	5,154.95						234.94	280.35	309.35	628.82	2,442.00	1,259.49
	Precio Chacra (S/Kg.)	0.21						0.13	0.13	0.14	0.17	0.24	0.21
BETARRAGA	Sup.Verde (ha.)		69.00	72.00	69.00	57.00	57.00	59.00	60.00	56.00	53.00	45.00	41.00
	Siembras (ha.)	207.00	30.00	17.00	21.00	17.00	19.00	23.00	22.00	15.00	18.00	14.00	11.00
	Cosechas (ha.)	119.00						21.00	21.00	19.00	21.00	22.00	15.00
	Rendimiento (Kg./ha.)	19,104.85						17,385.67	17,396.19	19,552.11	21,415.67	21,026.36	17,283.93
	Produccion (t.)	2,273.48						365.10	365.32	371.49	449.73	462.58	259.26
	Precio Chacra (S/Kg.)	1.31						1.33	1.33	1.33	1.29	1.27	1.33
BROCOLI	Sup.Verde (ha.)		45.00	47.00	51.00	56.00	56.00	53.00	50.00	46.00	44.00	40.00	37.00
	Siembras (ha.)	162.00	12.00	19.00	18.00	17.00	19.00	15.00	15.00	12.00	13.00	11.00	11.00
	Cosechas (ha.)	96.00						18.00	18.00	16.00	15.00	15.00	14.00
	Rendimiento (Kg./ha.)	17,157.06						17,186.61	17,172.78	17,406.88	16,706.60	17,176.67	17,275.00
	Produccion (t.)	1,647.08						309.36	309.11	278.51	250.60	257.65	241.85
	Precio Chacra (S/Kg.)	1.67						1.51	1.53	1.61	1.65	1.90	1.92
CAIGUA(T)	Sup.Verde (ha.)		0.00	10.00	11.00	11.00	7.00	3.00	0.00			2.00	10.00
	Siembras (ha.)	21.00		10.00	1.00							2.00	8.00
	Cosechas (ha.)	7.00						4.00	3.00				
	Rendimiento (Kg./ha.)	12,545.71						12,550.00	12,540.00				
	Produccion (t.)	87.82						50.20	37.62				
	Precio Chacra (S/Kg.)	1.59						1.65	1.50				
CAMOTE	Sup.Verde (ha.)		80.00	84.00	79.00	40.00	40.00	46.00	51.00	48.00	39.00	32.00	25.00
	Siembras (ha.)	72.00	3.00	14.00	7.00	8.00	12.00	7.00	8.00	5.00	2.00	1.00	5.00
	Cosechas (ha.)	43.00						1.00	3.00	8.00	11.00	8.00	12.00
	Rendimiento (Kg./ha.)	15,094.65						14,130.00	15,386.67	16,137.50	14,624.55	14,655.00	15,130.83
	Produccion (t.)	649.07						14.13	46.16	129.10	160.87	117.24	181.57
	Precio Chacra (S/Kg.)	1.85						2.40	2.00	1.97	1.80	1.37	2.05
CAÑA DE AZUCAR (PARA ALCOHOL)	Sup.Verde (ha.)		54.00	54.00	54.00	54.00	54.00	54.00	54.00	54.00	54.00	54.00	54.00
	Produccion (t.)	1,317.23						213.68	253.06	201.33	151.07	249.54	248.55
	Precio Chacra (S/Kg.)	0.32						0.32	0.32	0.32	0.31	0.32	0.32
CAÑA DE AZUCAR (PARA AZUCAR)	Sup.Verde (ha.)		849.00	849.00	849.00	849.00	853.91	853.91	853.91	853.91	853.91	853.91	853.91
	Siembras (ha.)	4.91					4.91						
	Produccion (t.)	21,842.56						6,133.54	4,434.38	5,389.18	942.18		4,943.28
	Precio Chacra (S/Kg.)	0.13						0.10	0.12	0.12	0.12		0.17
CAÑA DE AZUCAR (PARA FRUTA)	Sup.Verde (ha.)		19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00
	Produccion (t.)	80.27											80.27
	Precio Chacra (S/Kg.)	3.00											3.00
CEBADA FORRAJERA	Sup.Verde (ha.)		23.00	44.00	78.00	159.00	259.00	258.00	278.00	304.00	326.00	178.00	106.00
	Siembras (ha.)	509.00	15.00	27.00	36.00	98.00	126.00	35.00	46.00	60.00	52.00	12.00	2.00
	Cosechas (ha.)	360.00						36.00	26.00	34.00	30.00	160.00	74.00
	Rendimiento (Kg./ha.)	14,328.08						16,492.17	17,163.46	16,871.47	17,403.33	12,152.88	14,566.88
	Produccion (t.)	5,158.11						593.72	446.25	573.63	522.10	1,944.46	1,077.95
	Precio Chacra (S/Kg.)	0.15						0.13	0.13	0.13	0.13	0.18	0.16
CEBADA CERVECERA	Sup.Verde (ha.)					0.00							
CEBADA GRANO	Sup.Verde (ha.)		13.00	6.00	24.00	84.00	116.00	175.00	203.00	201.00	201.00	146.00	56.00
	Siembras (ha.)	216.00	3.00	2.00	18.00	60.00	32.00	59.00	31.00		11.00		
	Sup Perdida (ha.)	1.00							1.00				
	Cosechas (ha.)	160.00							2.00	2.00	11.00	55.00	90.00
	Rendimiento (Kg./ha.)	2,983.81							1,810.00	1,800.00	2,575.45	3,321.82	2,879.56
	Produccion (t.)	477.41							3.62	3.60	28.33	182.70	259.16
	Precio Chacra (S/Kg.)	2.56							3.00	3.00	3.25	2.52	2.50
CEBOLLA	Sup.Verde (ha.)		2,526.00	2,996.00	2,787.00	2,306.00	2,037.00	1,961.00	2,641.00	3,243.00	4,293.00	3,490.00	3,018.00
	Siembras (ha.)	7,673.00	1,116.00	731.00	324.00	229.00	40.00	479.00	1,128.00	1,113.00	1,779.00	331.00	403.00
	Sup Perdida (ha.)	3.00							1.00	2.00			
	Cosechas (ha.)	4,249.00						555.00	447.00	509.00	729.00	1,134.00	875.00

	Rendimiento (Kg./ha.)	40,991.27						46,470.88	45,339.06	45,121.53	42,858.60	33,082.42	41,586.03
	Produccion (t.)	174,171.92						25,791.34	20,266.56	22,966.86	31,243.92	37,515.46	36,387.78
	Precio Chacra (S/Kg.)	0.85						0.63	0.86	0.91	1.03	0.90	0.76
CEBOLLA CABEZA AMARILLA	Sup.Verde (ha.)		140.00	220.00	180.00	120.00	40.00	0.00					
	Siembras (ha.)	180.00	100.00	80.00									
	Cosechas (ha.)	40.00						40.00					
	Rendimiento (Kg./ha.)	62,300.00						62,300.00					
	Produccion (t.)	2,492.00						2,492.00					
	Precio Chacra (S/Kg.)	1.50						1.50					
CEBOLLA CHINA	Sup.Verde (ha.)		12.00	8.00	9.00	39.00	40.00	9.00	10.00	8.00	7.00	13.00	14.00
	Siembras (ha.)	67.00	2.00	3.00	4.00	32.00	4.00	3.00	3.00	2.00	2.00	9.00	3.00
	Cosechas (ha.)	48.00						34.00	2.00	4.00	3.00	3.00	2.00
	Rendimiento (Kg./ha.)	31,916.67						31,994.12	31,800.00	32,100.00	31,500.00	31,200.00	32,050.00
	Produccion (t.)	1,532.00						1,087.80	63.60	128.40	94.50	93.60	64.10
	Precio Chacra (S/Kg.)	1.20						1.41	0.68	0.68	0.68	0.70	0.70
CHIRIMOYO	Sup.Verde (ha.)		11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00
	Produccion (t.)	42.98									32.38		10.60
	Precio Chacra (S/Kg.)	5.67									6.28		3.80
CIROLERO (CIRUELA PRUNUS)	Sup.Verde (ha.)		4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
	Produccion (t.)	11.24									11.24		
	Precio Chacra (S/Kg.)	4.31									4.31		
COL O REPOLLO	Sup.Verde (ha.)		57.00	68.00	79.00	82.00	82.00	85.00	82.00	71.00	60.00	49.00	43.00
	Siembras (ha.)	211.00	19.00	23.00	25.00	22.00	22.00	27.00	19.00	16.00	16.00	11.00	11.00
	Cosechas (ha.)	139.00						24.00	22.00	27.00	27.00	22.00	17.00
	Rendimiento (Kg./ha.)	17,767.04						17,835.42	17,528.64	17,946.63	17,715.93	17,645.00	17,932.94
	Produccion (t.)	2,469.62						428.05	385.63	484.56	478.33	388.19	304.86
	Precio Chacra (S/Kg.)	1.36						1.29	1.30	1.32	1.37	1.46	1.46
COLIFLOR	Sup.Verde (ha.)		36.00	40.00	42.00	44.00	46.00	46.00	45.00	41.00	34.00	30.00	22.00
	Siembras (ha.)	130.00	11.00	16.00	15.00	13.00	17.00	11.00	12.00	14.00	7.00	8.00	6.00
	Cosechas (ha.)	82.00						11.00	13.00	18.00	14.00	12.00	14.00
	Rendimiento (Kg./ha.)	17,826.43						18,097.18	17,663.08	17,817.78	17,871.43	17,830.00	17,728.43
	Produccion (t.)	1,461.77						199.07	229.62	320.72	250.20	213.96	248.20
	Precio Chacra (S/Kg.)	1.53						1.46	1.17	1.49	1.44	1.68	1.95
DAMASCO	Sup.Verde (ha.)		2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
ESPINACA	Sup.Verde (ha.)		16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	18.00	18.00	20.00	20.00	20.00	20.00
	Siembras (ha.)	4.00						2.00		2.00			
	Produccion (t.)	777.86						219.20		74.30	85.56	275.20	123.60
	Precio Chacra (S/Kg.)	1.77						1.75		2.60	2.04	1.59	1.50
FRESAS Y FRUTILLAS (SEMIPERM.)	Sup.Verde (ha.)		122.00	124.00	127.00	127.00	131.00	132.00	135.00	137.00	137.00	137.00	137.00
	Siembras (ha.)	15.00		2.00	3.00		4.00	1.00	3.00	2.00			
	Produccion (t.)	231.41						48.13	6.65	10.48	101.85	23.76	40.54
	Precio Chacra (S/Kg.)	3.02						2.70	3.00	3.00	3.13	3.00	3.16
FRIJOL GRANO SECO	Sup.Verde (ha.)		590.00	54.00	43.00	44.00	44.00	43.00	73.00	1,447.00	3,157.00	3,552.00	3,538.00
	Siembras (ha.)	3,583.00	2.00	22.00	19.00	2.00		1.00	31.00	1,375.00	1,715.00	416.00	
	Cosechas (ha.)	44.00						2.00	1.00	1.00	5.00	21.00	14.00
	Rendimiento (Kg./ha.)	2,404.07						2,379.50	2,320.00	2,180.00	2,400.00	2,352.38	2,508.57
	Produccion (t.)	105.78						4.76	2.32	2.18	12.00	49.40	35.12
	Precio Chacra (S/Kg.)	5.72						5.00	5.00	5.00	6.00	5.76	5.76
FRIJOL VAINITA	Sup.Verde (ha.)		220.00	236.00	226.00	221.00	229.00	211.00	223.00	215.00	197.00	185.00	174.00
	Siembras (ha.)	644.00	54.00	88.00	55.00	48.00	66.00	71.00	65.00	43.00	45.00	53.00	56.00
	Cosechas (ha.)	388.00						89.00	53.00	51.00	63.00	65.00	67.00
	Rendimiento (Kg./ha.)	11,088.04						11,367.08	11,258.87	11,278.20	10,759.52	10,634.15	11,186.72
	Produccion (t.)	4,302.16						1,011.67	596.72	575.19	677.85	691.22	749.51
	Precio Chacra (S/Kg.)	2.02						2.45	2.04	1.75	1.62	1.81	2.19
GRANADO	Sup.Verde (ha.)		508.00	508.00	508.00	508.00	513.00	513.00	513.00	513.00	513.00	513.00	513.00
	Siembras (ha.)	5.00					5.00						
	Produccion (t.)	4,305.13						434.40	3,190.00	672.04	8.69		
	Precio Chacra (S/Kg.)	1.66						1.50	1.60	2.04	3.00		
GUAYABO	Sup.Verde (ha.)		19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00
	Siembras (ha.)	2.00	2.00										
	Produccion (t.)	104.00									6.80	61.90	35.30
	Precio Chacra (S/Kg.)	3.74									3.00	3.71	3.93
HABA GRANO SECO	Sup.Verde (ha.)		19.00	108.00	379.00	428.00	436.00	436.00	432.00	428.00	376.00	161.00	15.00
	Siembras (ha.)	432.00	15.00	89.00	271.00	49.00	8.00						

	Cosechas (ha.)	421.00							4.00	4.00	52.00	215.00	146.00
	Rendimiento (Kg./ha.)	2,241.08							2,340.00	2,425.00	2,402.23	2,210.14	2,221.51
	Produccion (t.)	943.50							9.36	9.70	124.92	475.18	324.34
	Precio Chacra (S/Kg.)	4.75							3.50	3.44	4.19	4.93	4.79
HABA GRANO VERDE	Sup.Verde (ha.)		477.00	808.00	1,067.00	996.00	921.00	601.00	338.00	221.00	192.00	149.00	123.00
	Siembras (ha.)	1,318.00	291.00	364.00	297.00	58.00	51.00	54.00	39.00	67.00	53.00	8.00	36.00
	Cosechas (ha.)	1,055.00						374.00	302.00	184.00	82.00	51.00	62.00
	Rendimiento (Kg./ha.)	9,177.80						9,995.80	8,895.69	8,744.17	8,138.77	8,097.45	9,167.39
	Produccion (t.)	9,682.58						3,738.43	2,686.50	1,608.93	667.38	412.97	568.38
	Precio Chacra (S/Kg.)	1.46						1.77	1.25	1.09	1.47	1.42	1.51
HIGUERA	Sup.Verde (ha.)		89.00	89.00	89.00	89.00	89.00	89.00	89.00	89.00	89.00	89.00	89.00
	Produccion (t.)	318.74							90.18	228.56			
	Precio Chacra (S/Kg.)	3.96							3.92	3.98			
HO LAN TAO	Sup.Verde (ha.)		70.00	80.00	80.00	70.00	10.00	0.00	12.00	20.00	25.00	50.00	86.00
	Siembras (ha.)	168.00	60.00	10.00					12.00	8.00	5.00	25.00	48.00
	Cosechas (ha.)	22.00						10.00					12.00
	Rendimiento (Kg./ha.)	14,709.09						14,600.00					14,800.00
	Produccion (t.)	323.60						146.00					177.60
	Precio Chacra (S/Kg.)	5.00						5.00					5.00
LECHUGA	Sup.Verde (ha.)		52.00	51.00	55.00	57.00	59.00	58.00	61.00	57.00	54.00	48.00	42.00
	Siembras (ha.)	210.00	16.00	22.00	25.00	18.00	23.00	21.00	20.00	19.00	18.00	15.00	13.00
	Cosechas (ha.)	123.00						22.00	17.00	23.00	21.00	21.00	19.00
	Rendimiento (Kg./ha.)	17,568.85						17,035.91	16,927.65	17,094.78	17,271.43	16,929.48	20,368.95
	Produccion (t.)	2,160.97						374.79	287.77	393.18	362.70	355.52	387.01
	Precio Chacra (S/Kg.)	1.36						1.29	1.27	1.30	1.36	1.44	1.50
LIMA	Sup.Verde (ha.)		4.00	4.00	4.00								
LIMON SUTIL	Sup.Verde (ha.)		13.00	13.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00
	Siembras (ha.)	1.00			1.00								
	Produccion (t.)	45.30								32.30			13.00
	Precio Chacra (S/Kg.)	2.54								2.56			2.50
LUCUMO	Sup.Verde (ha.)		68.00	68.00	68.00	68.00	68.00	68.00	68.00	68.00	68.00	68.00	68.00
	Produccion (t.)	245.65						15.00	29.00	20.00	132.35	20.00	29.30
	Precio Chacra (S/Kg.)	4.45						4.50	4.00	4.55	4.52	4.30	4.58
MAIZ AMARILLO DURO	Sup.Verde (ha.)		37.00	32.00	17.00	12.00	26.00	31.00	31.00	31.00	10.00	0.00	
	Siembras (ha.)	31.00					26.00	5.00					
	Cosechas (ha.)	31.00									21.00	10.00	
	Rendimiento (Kg./ha.)	9,212.90									9,242.86	9,150.00	
	Produccion (t.)	285.60									194.10	91.50	
	Precio Chacra (S/Kg.)	1.07									1.10	1.00	
MAIZ AMILACEO	Sup.Verde (ha.)		274.00	1,630.00	2,537.00	2,584.00	2,588.00	2,590.00	2,562.00	2,495.00	2,105.00	540.00	44.00
	Siembras (ha.)	2,600.00	246.00	1,365.00	912.00	58.00	4.00	4.00	1.00	2.00	6.00	2.00	
	Sup Perdida (ha.)	42.00							29.00	13.00			
	Cosechas (ha.)	2,516.00						2.00		55.00	396.00	1,567.00	496.00
	Rendimiento (Kg./ha.)	2,734.84						2,960.00		2,857.96	2,723.22	2,724.54	2,762.08
	Produccion (t.)	6,880.85						5.92		157.19	1,078.40	4,269.35	1,369.99
	Precio Chacra (S/Kg.)	5.48						3.10		4.24	5.02	5.53	5.85
MAIZ CHALA	Sup.Verde (ha.)		4,231.00	4,353.00	4,412.00	4,465.00	4,751.00	4,646.00	4,625.00	4,540.00	4,304.00	4,206.00	4,202.00
	Siembras (ha.)	11,006.00	982.00	1,003.00	1,099.00	1,071.00	1,180.00	946.00	998.00	1,009.00	831.00	816.00	1,071.00
	Sup Perdida (ha.)	27.00							22.00	5.00			
	Cosechas (ha.)	6,193.00						1,051.00	997.00	1,089.00	1,067.00	914.00	1,075.00
	Rendimiento (Kg./ha.)	53,716.62						54,287.93	54,306.12	52,224.56	54,092.70	53,855.85	53,631.20
	Produccion (t.)	332,667.06						57,056.61	54,143.20	56,872.55	57,716.91	49,224.25	57,653.54
	Precio Chacra (S/Kg.)	0.19						0.17	0.17	0.16	0.17	0.25	0.25
MAIZ CHOCLO	Sup.Verde (ha.)		1,383.00	293.00	105.00	105.00	105.00	105.00	102.00	41.00	822.00	842.00	842.00
	Siembras (ha.)	945.00		3.00	102.00						820.00	20.00	
	Cosechas (ha.)	103.00							3.00	61.00	39.00		
	Rendimiento (Kg./ha.)	10,068.93							17,000.00	9,890.16	9,815.38		
	Produccion (t.)	1,037.10							51.00	603.30	382.80		
	Precio Chacra (S/Kg.)	2.95							1.30	3.00	3.08		
MAIZ MORADO	Sup.Verde (ha.)		70.00	88.00	110.00	117.00	123.00	125.00	121.00	113.00	50.00	20.00	21.00
	Siembras (ha.)	138.00	24.00	38.00	38.00	14.00	6.00	2.00	2.00	4.00	3.00	6.00	1.00
	Cosechas (ha.)	120.00							6.00	12.00	66.00	36.00	
	Rendimiento (Kg./ha.)	5,738.95							5,185.00	3,419.50	6,328.03	5,524.44	
	Produccion (t.)	688.67							31.11	41.03	417.65	198.88	

	Precio Chacra (S/Kg.)	1.98							1.69	1.86	2.00	2.02	
MANDARIN0	Sup.Verde (ha.)		232.00	232.00	232.00	232.00	232.00	232.00	232.00	232.00	232.00	232.00	232.00
	Produccion (t.)	3,917.50											3,917.50
	Precio Chacra (S/Kg.)	2.00											2.00
MANGO	Sup.Verde (ha.)		36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00
	Produccion (t.)	503.85						254.85	249.00				
	Precio Chacra (S/Kg.)	3.30						3.19	3.41				
MANZANO	Sup.Verde (ha.)		138.00	138.00	138.00	138.00	138.00	138.00	138.00	138.00	138.00	138.00	138.00
	Produccion (t.)	1,010.78						224.86	361.32	173.55	240.55	10.50	
	Precio Chacra (S/Kg.)	2.55						2.56	2.65	2.68	2.30	2.00	
MELOCOTONERO	Sup.Verde (ha.)		115.00	115.00	116.00	116.00	116.00	116.00	116.00	116.00	116.00	116.00	116.00
	Siembras (ha.)	1.00			1.00								
	Produccion (t.)	775.02						307.44	168.03	193.75	102.00	3.80	
	Precio Chacra (S/Kg.)	3.86						3.08	3.08	4.62	6.09	2.50	
MELON	Sup.Verde (ha.)		12.00	17.00	20.00	15.00	8.00	3.00	0.00				
	Siembras (ha.)	15.00	7.00	5.00	3.00								
	Cosechas (ha.)	8.00						5.00	3.00				
	Rendimiento (Kg./ha.)	29,218.75						29,500.00	28,750.00				
	Produccion (t.)	233.75						147.50	86.25				
	Precio Chacra (S/Kg.)	1.39						1.50	1.20				
MEMBRILLERO	Sup.Verde (ha.)		23.00	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00
	Produccion (t.)	151.11						74.76	60.00	16.35			
	Precio Chacra (S/Kg.)	1.93						2.19	1.50	2.38			
NABO	Sup.Verde (ha.)		34.00	36.00	40.00	38.00	33.00	32.00	31.00	35.00	36.00	30.00	22.00
	Siembras (ha.)	160.00	15.00	17.00	18.00	16.00	14.00	15.00	14.00	17.00	15.00	10.00	9.00
	Cosechas (ha.)	91.00						16.00	15.00	13.00	14.00	16.00	17.00
	Rendimiento (Kg./ha.)	15,363.27						15,648.06	16,021.33	14,647.69	15,094.29	15,121.88	15,510.53
	Produccion (t.)	1,398.06						250.37	240.32	190.42	211.32	241.95	263.68
	Precio Chacra (S/Kg.)	1.25						1.17	1.23	1.21	1.26	1.29	1.32
NARANJO	Sup.Verde (ha.)		20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
	Produccion (t.)	78.00											78.00
	Precio Chacra (S/Kg.)	2.50											2.50
OCA	Sup.Verde (ha.)		2.00	11.00	19.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	9.00	4.00
	Siembras (ha.)	20.00	2.00	9.00	8.00	1.00							
	Cosechas (ha.)	16.00										11.00	5.00
	Rendimiento (Kg./ha.)	3,563.75										3,760.91	3,130.00
	Produccion (t.)	57.02										41.37	15.65
	Precio Chacra (S/Kg.)	2.58										2.60	2.50
OLIVO	Sup.Verde (ha.)		4,858.00	4,858.00	4,858.00	4,858.00	4,858.00	4,858.00	4,858.00	4,858.00	4,858.00	4,854.00	4,854.00
	Produccion (t.)	39,602.24								240.00	10,492.00	23,175.00	5,695.24
	Precio Chacra (S/Kg.)	1.61								1.30	1.62	1.62	1.54
OLLUCO	Sup.Verde (ha.)		3.00	13.00	24.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	23.00	12.00	4.00
	Siembras (ha.)	25.00	3.00	10.00	11.00	1.00							
	Cosechas (ha.)	21.00									2.00	11.00	8.00
	Rendimiento (Kg./ha.)	3,336.19									2,100.00	3,649.09	3,215.00
	Produccion (t.)	70.06									4.20	40.14	25.72
	Precio Chacra (S/Kg.)	2.73									3.50	2.79	2.50
OREGANO	Sup.Verde (ha.)		366.00	366.00	376.00	384.00	384.00	384.00	384.00	384.00	384.00	399.00	399.00
	Siembras (ha.)	33.00			10.00	8.00						15.00	
	Produccion (t.)	669.71						24.88	16.73	149.35	166.19	196.24	116.32
	Precio Chacra (S/Kg.)	6.04						5.50	5.50	6.98	7.05	4.92	5.50
PACAE O GUABO	Sup.Verde (ha.)		25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
	Produccion (t.)	68.22						14.80	20.45	32.97			
	Precio Chacra (S/Kg.)	4.03						4.04	4.01	4.04			
PALLAR GRANO SECO	Sup.Verde (ha.)		35.00	35.00	0.00						25.00	25.00	25.00
	Siembras (ha.)	25.00									25.00		
PALTO	Sup.Verde (ha.)		2,337.00	2,342.00	2,372.00	2,377.00	2,392.00	2,393.00	2,399.00	2,399.00	2,399.00	2,399.00	2,399.00
	Siembras (ha.)	65.00	2.00	5.00	30.00	5.00	15.00	1.00	7.00				
	Sup Perdida (ha.)	1.00							1.00				
	Produccion (t.)	29,961.75						84.90	424.90	4,879.29	9,912.02	12,249.49	2,411.15
	Precio Chacra (S/Kg.)	4.48						4.47	4.97	5.46	4.57	4.14	3.84
PAPA (agrupa mejoradas y nativas)	Sup.Verde (ha.)		4,994.00	3,770.00	3,623.00	2,341.00	2,127.00	1,969.00	2,130.00	5,075.00	5,255.00	5,386.00	3,987.00
	Siembras (ha.)	9,925.00	406.00	840.00	733.00	413.00	298.00	396.00	643.00	3,421.00	746.00	660.00	1,369.00
	Sup Perdida (ha.)	6.00							6.00				

	Cosechas (ha.)	3,259.00						554.00	476.00	476.00	566.00	529.00	658.00
	Rendimiento (Kg./ha.)	33,579.88						35,419.12	34,823.82	26,387.22	30,863.16	33,593.81	38,660.33
	Produccion (t.)	109,436.83						19,622.19	16,576.14	12,560.32	17,468.55	17,771.13	25,438.50
	Precio Chacra (S/Kg.)	1.02						0.58	0.82	1.10	1.11	1.19	1.26
PAPA COLOR (agrupa papas mejoradas	Sup.Verde (ha.)									0.00	0.00		
PAPAYA	Sup.Verde (ha.)		4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
PAPRIKA	Sup.Verde (ha.)		86.00	299.00	689.00	1,499.00	1,899.00	2,059.00	1,941.00	1,616.00	1,103.00	465.00	160.00
	Siembras (ha.)	2,053.00	80.00	213.00	390.00	810.00	400.00	160.00					
	Cosechas (ha.)	1,899.00							118.00	325.00	513.00	638.00	305.00
	Rendimiento (Kg./ha.)	5,859.87							5,920.00	5,588.15	5,613.53	5,862.38	6,535.25
	Produccion (t.)	11,127.90							698.56	1,816.15	2,879.74	3,740.20	1,993.25
	Precio Chacra (S/Kg.)	7.59							5.98	5.43	7.35	8.65	8.50
PECANO	Sup.Verde (ha.)		73.00	73.00	73.00	73.00	73.00	73.00	73.00	73.00	73.00	73.00	73.00
	Produccion (t.)	127.20											127.20
	Precio Chacra (S/Kg.)	25.00											25.00
PEPINILLO (CUCUMIS SATIVUS)	Sup.Verde (ha.)		10.00	10.00	13.00	15.00	14.00	14.00	11.00	11.00	15.00	17.00	16.00
	Siembras (ha.)	35.00	5.00	5.00	3.00	4.00	1.00	3.00	3.00	2.00	5.00	2.00	2.00
	Cosechas (ha.)	15.00						3.00	6.00	2.00	1.00		3.00
	Rendimiento (Kg./ha.)	11,881.67						13,045.00	11,780.00	11,730.00	11,140.00		11,270.00
	Produccion (t.)	178.23						39.14	70.68	23.46	11.14		33.81
	Precio Chacra (S/Kg.)	2.48						2.27	2.61	2.34	2.40		2.60
PERAL	Sup.Verde (ha.)		44.00	44.00	44.00	44.00	44.00	44.00	44.00	44.00	44.00	44.00	44.00
	Produccion (t.)	288.57						24.10	230.05	34.42			
	Precio Chacra (S/Kg.)	2.21						3.69	1.91	3.22			
PEREJIL (ESPECIAL)	Sup.Verde (ha.)		15.00	24.00	24.00	24.00	24.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00
	Siembras (ha.)	13.00		9.00				4.00					
	Produccion (t.)	366.02						114.12	108.90		47.20	48.80	47.00
	Precio Chacra (S/Kg.)	0.72						0.72	0.72		0.72	0.72	0.72
PITAHAYA	Sup.Verde (ha.)		34.00	34.00	34.00	47.00	47.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00
	Siembras (ha.)	26.00				13.00		13.00					
	Produccion (t.)	165.18						49.50	115.68				
	Precio Chacra (S/Kg.)	3.40						2.00	4.00				
PLATANOS Y BANANAS PARA COCCIÓ	Sup.Verde (ha.)		2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
	Produccion (t.)	9.20									9.20		
	Precio Chacra (S/Kg.)	3.50									3.50		
PORO	Sup.Verde (ha.)		50.00	49.00	50.00	54.00	51.00	50.00	50.00	51.00	47.00	43.00	38.00
	Siembras (ha.)	131.00	10.00	15.00	11.00	14.00	12.00	13.00	15.00	13.00	9.00	11.00	8.00
	Cosechas (ha.)	82.00						14.00	15.00	12.00	13.00	15.00	13.00
	Rendimiento (Kg./ha.)	18,020.82						17,797.00	18,048.60	18,010.83	18,151.54	17,976.67	18,159.23
	Produccion (t.)	1,477.71						249.16	270.73	216.13	235.97	269.65	236.07
	Precio Chacra (S/Kg.)	1.30						1.19	1.20	1.28	1.35	1.35	1.43
QUINUA	Sup.Verde (ha.)		1,411.00	1,076.00	840.00	516.00	411.00	290.00	218.00	278.00	543.00	853.00	1,214.00
	Siembras (ha.)	1,723.00	143.00	147.00	201.00	14.00	25.00		13.00	76.00	309.00	398.00	397.00
	Sup Perdida (ha.)	3.00							3.00				
	Cosechas (ha.)	387.00						121.00	82.00	16.00	44.00	88.00	36.00
	Rendimiento (Kg./ha.)	3,077.36						3,807.02	3,983.66	2,938.75	3,017.73	1,817.39	1,775.00
	Produccion (t.)	1,190.94						460.65	326.66	47.02	132.78	159.93	63.90
	Precio Chacra (S/Kg.)	6.11						6.19	6.19	6.18	6.28	5.75	5.69
RABANO	Sup.Verde (ha.)		8.00	10.00	12.00	10.00	11.00	11.00	11.00	7.00	9.00	9.00	8.00
	Siembras (ha.)	106.00	8.00	10.00	12.00	10.00	11.00	11.00	11.00	7.00	9.00	9.00	8.00
	Cosechas (ha.)	58.00						11.00	11.00	11.00	7.00	9.00	9.00
	Rendimiento (Kg./ha.)	15,425.84						15,585.45	15,467.18	15,485.45	15,498.57	15,201.11	15,275.56
	Produccion (t.)	894.70						171.44	170.14	170.34	108.49	136.81	137.48
	Precio Chacra (S/Kg.)	1.21						1.22	1.17	1.17	1.24	1.24	1.27
RYE GRASS	Sup.Verde (ha.)		7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00
	Siembras (ha.)	1.00	1.00										
	Produccion (t.)	135.65							48.90		48.00	38.75	
	Precio Chacra (S/Kg.)	0.13							0.13		0.13	0.13	
SANDIA	Sup.Verde (ha.)		3.00	38.00	45.00	49.00	33.00	22.00	9.00	3.00	0.00		
	Siembras (ha.)	49.00	3.00	35.00	7.00	4.00							
	Cosechas (ha.)	33.00						11.00	13.00	6.00	3.00		
	Rendimiento (Kg./ha.)	33,948.79						34,869.09	34,865.38	32,200.00	30,100.00		
	Produccion (t.)	1,120.31						383.56	453.25	193.20	90.30		
	Precio Chacra (S/Kg.)	0.99						1.00	0.94	1.00	1.20		

| | | |

ANEXO 2. Resultados de la generación de gas por triplicado en los sistemas batch de 10L

Tabla 23. Producción de gas en litro obtenidas cada semana por triplicado en un batch de 10 L

Semana	**Batch 1 (L)**	**Batch 2 (L)**	**Batch 3 (L)**
1	2.1	2.9	2.8
2	2.7	3.1	3
3	3.1	3.1	2.6
4	2.5	2.5	2.2
5	1.1	2.1	1.9
Total	11.5	13.8	12.5

***Elaboración propia

ANEXO 3. Resultados de la prueba de comparaciones múltiples de Dunn para los porcentajes de germinación de acuerdo a la concentración.

Tabla 24. Matriz completa de comparaciones por pares mediante la prueba de Dunn para la quinua

Grupo A	Grupo B	Diferencia de Rangos Promediados	Estadístico Z	Valor p	Valor p Ajustado	Sig.
100 %	Blanco	-9.00	-3.07	0.002	0.045	No
100 %	1 %	-8.25	-2.81	0.005	0.083	Si
100 %	3 %	-11,75	-4.00	<0.001	0.019	Si
100 %	5 %	-9.75	-3.32	0.001	0.032	No
100 %	10 %	-1.00	-0.34	0.733	1.000	No
100 %	25 %	0.00	0.00	1.000	1.000	No
25 %	Blanco	-9.00	-3.07	0.002	0.054	No
25 %	1 %	-8.25	-2.81	0.005	0.083	Si
25 %	3 %	-11.75	-4.00	<0.001	0.019	Si
25 %	5 %	-9.75	-3.32	0.001	0.032	No
25 %	10%	-1.00	-0.34	0.733	1.000	No
10 %	Blanco	-8.00	-2.72	0.006	0.098	No
10 %	1 %	-7.25	-2.47	0.013	0.145	Si
10 %	3 %	-10.75	-3.66	<0.001	0.032	No
10 %	5%	-8.75	-2.98	0.003	0.062	No
5 %	Blanco	0.75	0.26	0.798	1.000	No
5 %	1 %	1.50	0.51	0.609	1.000	No
5 %	3 %	-2.00	-0.68	0.496	1.000	No
1 %	Blanco	-0.75	-0.26	0.798	1.000	No
1 %	3 %	-2.75	-0.94	0.348	1.000	No
3 %	Blanco	2.75	0.94	0.348	1.000	No

*Elaboración propia con datos procesados con RStudio 4.3.2

Tabla 25. Matriz completa de comparaciones por pares mediante la prueba de Dunn para el tomate

Grupo A	Grupo B	Diferencia de Rangos Promediados	Estadístico Z	Valor p	Valor p Ajustado	Sig.
100 %	Blanco	-10.00	-3.41	<0.001	0.028	Si
100 %	1 %	-9.00	-3.07	0.002	0.057	No
100 %	3 %	-12,25	-4.17	<0.001	0.008	Si
100 %	5 %	-11.25	-3.83	<0.001	0.016	Si
100 %	10 %	-2.75	-0.94	0.348	1.000	No
100 %	25 %	-1.75	-0.60	0.551	1.000	No
25 %	Blanco	-8.25	-2.81	0.005	0.057	No
25 %	1 %	-7.25	-2.47	0.013	0.145	No
25 %	3 %	-10.50	-3.58	<0.001	0.016	Si
25 %	5 %	-9.50	-3.24	0.001	0.037	Si
25 %	10%	-1.00	-0.34	0.733	1.000	No
10 %	Blanco	-7.25	-2.47	0.013	0.114	No
10 %	1 %	-6.25	-2.13	0.033	0.297	No
10 %	3 %	-9.50	-3.24	0.001	0.037	Si
10 %	5%	-8.50	-2.90	0.004	0.076	No
5 %	Blanco	1.25	0.43	0.670	1.000	No
5 %	1 %	2.25	0.77	0.443	1.000	No
5 %	3 %	-1.00	-0.34	0.733	1.000	No
1 %	Blanco	-1.00	-0.34	0.733	1.000	No
1 %	3 %	-3.25	-1.11	0.268	1.000	No
3 %	Blanco	2.25	0.77	0.443	1.000	No

*Elaboración propia con datos procesados con RStudio 4.3.2

ANEXO 4. Análisis composicional del estiércol

UNSA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA

Laboratorio de
Investigación y Servicios
LABINVSERV

INFORME DE ENSAYOS

REPORTE N°: 26404-25

ANÁLISIS DE:	UNIDAD	RESULTADOS		MÉTODO DE ENSAYO APLICADO NORMA/REFERENCIA/NOMBRE
		M. FRESCA	M SECA	
Humedad	%	84,85	---	Método 209.008 Norma Técnica Peruana
Materia Seca	%	15,15	---	
Materia Orgánica	%	13,14	86,78	Método Walkley Black
Carbono	%	7,62	50,34	
Nitrógeno	%	0,45	2,98	Método 2.057 de la AOAC
Fosforo	ppm	306,02	2 019,92	Método Colorimétrico.
Potasio	ppm	1 384,81	9 140,68	Método Absorción Atómica.
OBSERVACIONES:				

Emitido en Arequipa, 24 de noviembre de 2025.

Dra. Miriam Vilma María Málaga Cornejo
Coordinadora(e) del Laboratorio
RCQP - 259

Lic. Qgco. Fredy Agustín Valdivia Peña
Químico Responsable
RCQP - 842

Av. Independencia s/n. Arequipa - Pabellón de Química - Laboratorio 108 - Primer Piso
Teléfono: 220360 / E-mail: fcnf_labinvserv@unsa.edu.pe

ANEXO 5. Análisis composicional del Suero de Leche

NEPRIKLAUSOMA TYRIMŲ LABORATORIJA
INDEPENDENT TESTING LABORATORY

UAB NEPRIKLAUSOMA TYRIMŲ LABORATORIJA
Naratavičių g. 4, Telšiai, www.ntlaboratorija.lt
Veikla vykdoma: Sedos g. 35, Telšiai, LT-87101

NACIONALINIS AKREDITACIJOS BIURAS
Bandymai / tyrimai ISO/IEC 17025

ilac-MRA

7.8F10:01-3

Nr. LA.01.148

QUALITY CERTIFICATE No 24-958-3

Buyer	**J&J Sun Company S.A.C** **RUC (registration number); 20456123849 Federico Barreto 119, Urb. Ferroviarios, Arequipa, Peru**
Product name	Sweet whey powder
Net weight (kg)	24 000
Number and kind of packages (bags)	960
Packing	Min 2 ply paper bags with poly Inner liner of 25 kg net each
Producer	**Stock Company „ZEMAITIJOS PIENAS", Sedos str. 35, Telšiai, Lithuania**
Sampling (the name and function of person who takes samples)	JSC Nepriklausoma tyrimų laboratorija assistant Ilona Samoškienė by LST EN ISO 707:2008
Sample received	01.06.2024/03.06.2024
Sample analysed	01.06.2024/08.06.2024

THE UNDERSIGNER CERTIFY THAT I HAVE INSPECTED THE QUALITY OF THE GOODS AND I FOUND:

Parameter, units, information required by the method used	Result			Method
	BATCH No 151	BATCH No 152	BATCH No 153	
FAT CONTENT, %	0,83±0,20	0,82-0,93	0,93-0,94	LST EN ISO 1736:2009 DI28LA:2022*
MOISTURE CONTENT, %	1,59±0,15	1,54-1,66	1,41-1,70	Annex 4 of the Technical Regulation for dehydrated preserved milk for human consumption, approved by the Order No 3D-138 of the Minister of Agriculture ofthe Republic of Lithuania dated 14 March 2008 DI28LA:2022*
PROTEIN CONTENT, %	12,26±0,156	11,62-12,34	11,69-12,63	LST EN ISO 8968-1: 2014 DI28LA:2022*
LACTOSE, %	75,17±4,51	73,69-75,93	73,96-75,55	Enzymatic method# DI28LA:2022*
ASH, %	7,48±0,1	7,33-7,47	7,43-7,47	AOAC 930.30# DI28LA:2022*
INSOLUBILITY INDEX (ml)	0,1±0,1			MI09LA:2022*
TITRATABLE ACIDITY, %	0,14±0,01	0,13-0,14	0,11-0,14	MI03LA :2023*
SCORCHED PARTICLES	Not less than disc B			MI08LA :2021*
ACTIVE ACIDITY (pH) (10% Sol. at 20 °C)	6,29±0,05	6,22-6,38	6,33-6,48	MI02LA:2015
NUMBER OF TOTAL MICROORGANISMS, 30 °C, cfu/g	$1,4x10^2$-$6,9x10^2$			LST EN ISO 4833-1:2013 LST EN ISO 4833-1:2013/A1:2022
MOST PROBABLE NUMBER OF COLIFORMS, 30 °C, g	≤5,0			LST ISO 4831:2006
YEASTS AND MOULDS, g	$≤1,0x10^1$			LST ISO 6611:2004
DETECTION OF *SALMONELLA* SPP., 25g	Negative			LST EN ISO 6579-1:2017# LST EN ISO 6579-1:2017/A1:2020#
ENUMERATION OF COAGULASE POSITIVE STAPHYLOCOCCI (*STAPHYLOCOCCUS AUREUS* AND OTHER SPECIES), 37 °C, g	$≤1,0x10^1$			LST EN ISO 6888-1:2021#
DETECTION OF *LISTERIA MONOCYTOGENES*, 37 °C, 25 g	Negative			LST EN ISO 11290-1:2017#
ANTIBIOTICS	Negative(1)			MI12LA: 2022 (Delvotest T)*
CHLORAMPHENICOL, µg/kg	Negative(2)			MI12-1LA:2022*

*- JSC Nepriklausoma tyrimų laboratorija haven´t accreditation for these metods in Lithuanian National Accreditation Bureau (LA).

#- Analysis performed by subcontractors.

(1) – negative means, that beta-lactam antibiotics amount is less than this method $CC_β$ - 4 µg/kg.

(2) – negative means, that chloramphenicol amount is less than this method $CC_β$ - 0,025 µg/kg.

± expanded uncertainty is calculated using a coverage factor of 2, corresponding approximately to confidence level of 95% in normal distribution.Denoting the test result in [...], the expanded uncertainty is calculated from standard uncertainty using a coverage factor of 2, corresponding approximately to confidence level of 95% in normal distribution.

PRODUCTION DATE	BEST BEFORE	NET WEIGHT (kg)	BATCH No (Pallet No)
01.06.2024	30.11.2025	4 000	151(243005094-243005097)
02.06.2024	01.12.2025	15 000	152 (243005122-243005131;243005134; 243005138;243005146; 243005190;243005191)
03.06.2024	02.12.2025	5 000	153 (243005148;243005153;243005160; 243005202;243005203)

STORAGE: under temperature max (0÷ +20) °C and humidity max 80 %. Shelf Life 18 Months from the Production date.

DATE: 01.07.2024

SIGNATURE

UAB Nepriklausoma tyrimų laboratorija
2024.07.01 Laborantė
Ilona Samoškienė

Nepriklausoma tyrimų laboratorija" UAB
Direktorė
Rasa Bajorydienė
20 24 m. 07 mėn. 03 d.

STAMP
ATITIKTIES DEKLARACIJA
NEPRIKLAUSOMA TYRIMŲ LABORATORIJA

ANEXO 6. Trituración de los residuos agrícolas de papa y tomate

Figura 16. Trituración manual de los residuos agrícolas de tomate y papa

*Imagen de la trituración mecánica manual, empleando instrumentos sencillos como cuchillos o tijeras, este método fue utilizado para simular los recursos técnicos del contexto local a que se basa esta investigación.

Figura 17. Trituración finalizada de los residuos agrícolas de tomate y papa después de un secado natural bajo el sol

*Imagen del secado natural de los residuos de Papa y Tomate bajo el sol para facilitar la absorción de nutrientes, sin embargo, esta técnica fue descartada posteriormente debido al tiempo que consumía y la posibilidad de contaminación microbiana.

ANEXO 7. Curso y guía del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) en el sector de Santa Rita, para la elaboración de Biorreactores

Figura 18. Capacitación para la creación de biol a partir de tanques de 100 L sin residuos industriales

*Imagen del Curso otorgado por el INIA para la creación de un biol sostenible y adecuado, el protocolo se caracterizó por el uso exclusivo de estiércol y agua en una relación establecida, sin la incorporación de residuos agrícolas, utilizando tanques de 100 L (aprox.) como reactor

Figura 19. Capacitación de concentraciones efectivas de Riego de biol sobre cultivos de cebolla

*Demostración metodológica de riego evaluada en un curso de capacitación. La técnica mostrada se ajusta a los requerimientos hídricos críticos del cultivo de cebolla para optimizar el rendimiento y calidad de cosecha

ANEXO 8. Precios de los Materiales

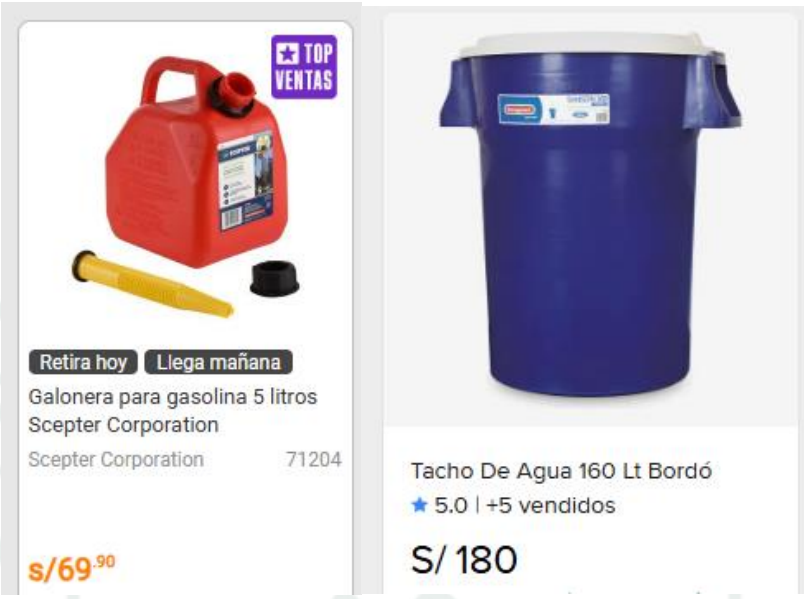

Figura 20. Comparativa de los precios de los tanques de 10L y 100L

*Fuente: Promart y Mercado libre para las comparaciones de precio entre los tanques de plástico

ANEXO 9. Precios y Comparativa de los materiales

Figura 21. Comparativa Visual de los residuos de papa y tomate

*Residuos agrícolas de papa y tomate previa la trituración mecánica para comenzar la fermentación anaeróbica.