

Universidad Católica de Santa María
Facultad de Ciencias Farmacéuticas, Bioquímicas y
Biotechnológicas
Escuela Profesional de Ingeniería Biotechnológica



**Evaluación del potencial bioquímico de metano (PBM) del estiércol bovino,
ovino, rastrojos de cultivo y el efecto del producto EM-1 en la calidad de
biogás y biol, a nivel laboratorio**

Tesis presentada por las Bachilleres:

Castro Diaz, Alexandra Milagros

ORCID: 0000-0003-2104-1496

Incalla Leandres, Angelica Maria Luisa

ORCID: 0009-0006-3456-4578

Para optar el Título Profesional de Ingeniera Biotecnóloga

Asesor:

Mg. Tejada Meza, Kevin

ORCID: 0000-0002-9716-7821

Arequipa - Perú

2025

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INGENIERIA BIOTECNOLOGICA

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 15 de Septiembre del 2025

Dictamen: 004219-C-EPIB-2025

Visto el borrador del expediente 004219, presentado por:

2015700982 - CASTRO DIAZ ALEXANDRA MILAGROS

2015244672 - INCALLA LEANDRES ANGELICA MARIA LUISA

Título:

EVALUACIÓN DEL POTENCIAL BIOQUÍMICO DE METANO (PBW) DEL ESTIÉRCOL BOVINO,
OVINO, RASTROJOS DE CULTIVO Y EL EFECTO DEL PRODUCTO EM-I EN LA CALIDAD DE
BIOGÁS Y BIOL, A NIVEL LABORATORIO

Nuestro dictamen es:

APROBADO

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

INGENIERO BIOTECNOLOGO

29630612 - TERAN DIANDERAS ADILMI MILAGRO
DICTAMINADOR



41404327 - BARREDA DEL CARPIO JAIME ERNESTO
DICTAMINADOR



72172854 - FLORES CALLA SUSAN SOFIA
DICTAMINADOR



Evaluación del potencial bioquímico de metano (PBM) del estiércol bovino, ovino, rastrojos de cultivo y el efecto del producto EM-1 en la calidad de biogás y biol, a nivel laboratorio

INFORME DE ORIGINALIDAD

9%

INDICE DE SIMILITUD

9%

FUENTES DE INTERNET

5%

PUBLICACIONES

6%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

Submitted to Universidad Católica de Santa María

Trabajo del estudiante

5%

2

repositorio.ucsm.edu.pe

Fuente de Internet

1%

3

hdl.handle.net

Fuente de Internet

1%

4

repositorio.ugto.mx

Fuente de Internet

1%

5

www.corpamag.gov.co

Fuente de Internet

1%

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias < 1%

Excluir bibliografía

Apagado



DEDICATORIA

En primer lugar, dedico esto a Dios, quien me ha fortalecido, dado perseverancia y optimismo para no desistir en el camino.

A mis padres, hermanos, madrina Evangelina y mama grande que siempre me han brindado su apoyo incondicional para poder cumplir todos mis objetivos personales y académicos.

Así mismo se lo dedico a mis abuelos y abuelas maternos, paternos y demás ancestros por toda su sabiduría y conocimientos desde el más allá porque este logro es de todos nosotros.

Ellos son los que con su amor me han impulsado siempre a perseguir mis metas incluso frente a las adversidades. También son los que me han brindado el soporte emocional, espiritual, material y económico para poder concentrarme en los estudios y no abandonarlos.

Alexandra Castro Diaz

Dedico esta tesis a Dios, quien me dio muchas fuerzas para no rendirme, por su fidelidad y amor incondicional en mi vida.

A mis padres, a mi mamá Juana, por su apoyo incondicional, este logro es por todo su esfuerzo, por darme perseverancia en seguir y alentándome en cada paso que doy.

A mi papá Luis, por ser un buen padre, sé que no podrás verlo papá, pero te dedico esto con mucho cariño hasta el cielo, gracias por todas las enseñanzas, me esforcé mucho y lo hicimos, hubiera querido tenerte a mi lado y que estuvieses orgulloso de mi, pero en cada paso que doy estás conmigo, esto va para ti.

A mis hermanos Maheva y Juan que siempre estuvieron apoyándome.

A todos mis hermanos en Cristo que estuvieron orando por mí, gracias por todo.

Dedicado a todos quienes nos ayudaron y apoyaron de manera directa o indirecta con este proyecto.

Angelica Incalla Leandres

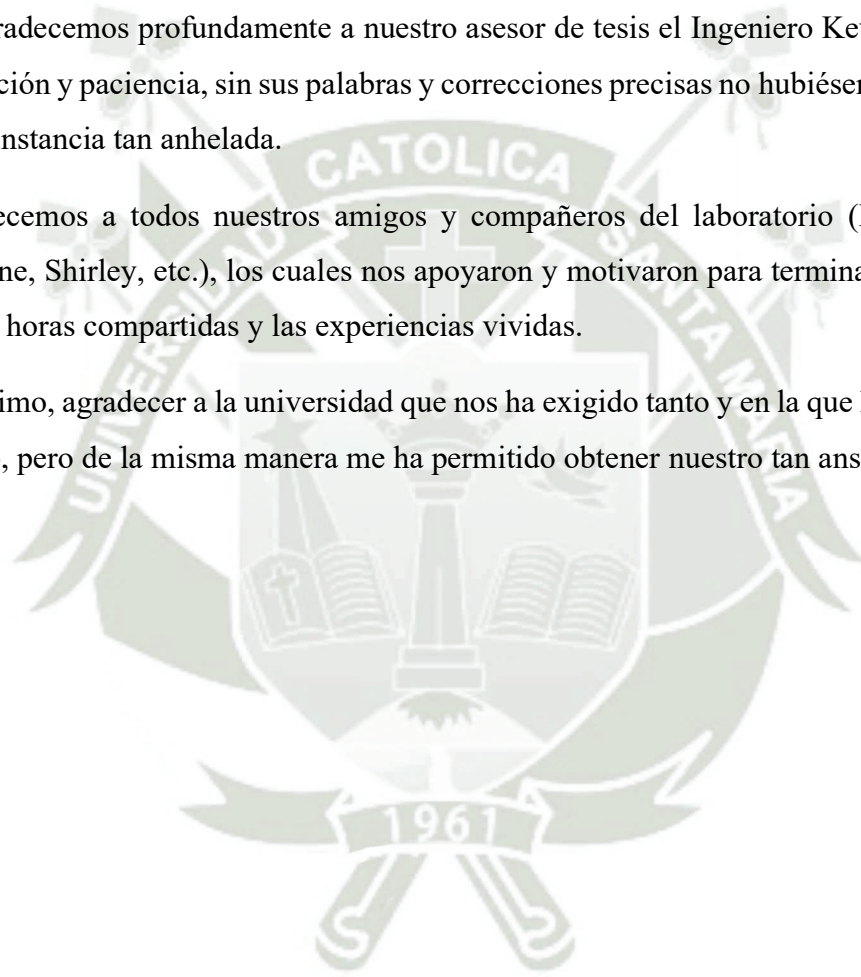
AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, les agradezco de todo corazón a Dios, mis padres y a nuestras familias, ellos son los que con su amor me han impulsado siempre a perseguir nuestras metas incluso frente a las adversidades. También son los que me han brindado el soporte material y económico para poder concentrarnos en los estudios y trabajo.

Le agradecemos profundamente a nuestro asesor de tesis el Ingeniero Kevin Tejada por su dedicación y paciencia, sin sus palabras y correcciones precisas no hubiésemos podido llegar a esta instancia tan anhelada.

Agradecemos a todos nuestros amigos y compañeros del laboratorio (Kristell, Mariela, Jeraldine, Shirley, etc.), los cuales nos apoyaron y motivaron para terminar la tesis, gracias por las horas compartidas y las experiencias vividas.

Por último, agradecer a la universidad que nos ha exigido tanto y en la que he invertido tanto tiempo, pero de la misma manera me ha permitido obtener nuestro tan ansiado título.



RESUMEN

Esta investigación tuvo como objetivo evaluar el potencial bioquímico de metano generado a partir de estiércol bovino, ovino, rastrojos de cultivo y el efecto del producto EM-1 en la calidad de biometano y biol a nivel laboratorio. La metodología experimental, de alcance explicativo y enfoque cuantitativo, se llevó a cabo mediante el diseño y construcción de 18 biodigestores tipo batch. Los experimentos abarcaron un (1) mes y medio para cada una de las fases de producción de biogás. Además, se determinó la calidad del biol en cada tratamiento (5% y 10%) junto con un grupo de control, donde se midió el porcentaje de germinación y altura de la planta de *Lactuca sativa* durante 35 días. Se obtuvo que el tratamiento con combinado obtuvo 31.2% y 29.4% el mayor porcentaje de sólidos totales y la relación C/N. En la primera fase, para la producción máxima de biogás, la mejor concentración fue con 50% de estiércol, 25% de rastrojo y 25 % de agua, con valores de 164.767 ± 64.43 mL en bovino, 138.83 ± 42.33 mL en ovino y 247.43 ± 32.70 mL en combinado. En la segunda fase, el tratamiento EM-1 vs melaza obtuvo el mayor volumen con 278.67 ± 23.71 mL y 413.33 ± 378.46 mL en combinado. En la tercera fase, para el PBM el sistema E1 y E2 con melaza obtuvo 201 ± 3.97 mL y 198 ± 3.97 mL en bovino, el tratamiento con estiércol bovino y combinado obtuvo un 50.50% y 61% de metano. Con respecto a la calidad de biol, con el tratamiento 1 y 2 (5% y 10%) el % de germinación y altura fueron mayor correspondió al uso de estiércol ovino con un valor 96.7 ± 5.77 % en el tratamiento 1 y con el tratamiento 2 (10%), la altura de la planta de *Lactuca sativa* obtuvo 8.21 ± 0.59 cm. Los resultados de los análisis fisicoquímicos (materia orgánica, carbono, nitrógeno y conductividad eléctrica) del biol con mayor valor fueron con el tratamiento ovino, mientras que, los parámetros microbiológicos están dentro de los valores permisibles de estos microorganismos biológicos, lo que indica la buena calidad del biol ovino obtenido. Este estudio contribuye a la optimización del uso de residuos orgánicos en zonas rurales del Perú, promoviendo la generación de energía renovable y mejorando prácticas agrícolas sostenibles mediante la producción de biogás y calidad de biol.

Palabras clave: Potencial bioquímico de metano, biogás, EM-1.

ABSTRACT

This research aimed to evaluate the biochemical methane potential (BMP) generated from bovine manure, ovine manure, crop residues, and the effect of the EM-1 product on the quality of biomethane and biol at the laboratory level. The experimental methodology, with an explanatory scope and quantitative approach, was carried out through the design and construction of 18 batch-type biodigesters. The experiments lasted one and a half (1.5) months for each of the biogas production phases. In addition, the quality of the biol was assessed in each treatment (5% and 10%) along with a control group, where the germination percentage and plant height of *Lactuca sativa* were measured over 35 days.

The combined treatment achieved the highest values for total solids (31.2%) and C/N ratio (29.4%). In the first phase, for maximum biogas production, the best concentration was obtained with 50% manure, 25% crop residues, and 25% water, with values of 164.767 ± 64.43 ml for bovine, 138.83 ± 42.33 mL for ovine, and 247.43 ± 32.70 mL for the combined treatment. In the second phase, the EM-1 vs molasses treatment reached the highest volumes with 278.67 ± 23.71 mL and 413.33 ± 378.46 mL in the combined treatment. In the third phase, for BMP, the E1 and E2 systems with molasses obtained 201 ± 3.97 mL and 198 ± 3.97 mL in bovine, while bovine and combined manure treatments reached 50.50% and 61% methane, respectively.

Regarding the quality of biol, in treatments 1 and 2 (5% and 10%), the highest germination percentage and plant height corresponded to ovine manure: $96.7 \pm 5.77\%$ germination in treatment 1, and 8.21 ± 0.59 cm plant height in treatment 2. The results of the physicochemical analyses (organic matter, carbon, nitrogen, and electrical conductivity) showed that ovine biol had the highest values, while microbiological parameters remained within permissible limits, confirming the good quality of the ovine biol obtained.

This study contributes to the optimization of organic waste utilization in rural areas of Peru, promoting renewable energy generation and improving sustainable agricultural practices through the production of biogas and high-quality biol.

Key words: Biochemical methane potential, biogas, EM-1.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
RESUMEN	
ABSTRACT	
INTRODUCCIÓN	1
HIPÓTESIS.....	2
OBJETIVOS OBJETIVO GENERAL	3
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
VARIABLES E INDICADORES.....	3
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO	5
1.1. Biocombustibles	5
1.2. Tipos de Biocombustibles	5
1.3. Biogás.....	6
1.4. Biodigestores	9
1.5. Parámetros de control en el proceso de biodigestión	10
1.6. Biol.....	11
1.7. Microorganismos eficientes (EM).....	12
1.7.1. Composición y beneficios del uso de EM-1.....	12
CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS	14
2.1. Lugar de ejecución	14
2.2. Materiales	14
2.2.1. Material biológico (Cepas microbianas, líneas celulares, organismos)	14
2.2.2. Insumos	14
2.2.3. Reactivos químicos	14

2.2.4.	Materiales de laboratorio (vidrio, porcelana, metal, etc.)	15
2.2.5.	Aparatos y equipos	15
2.2.6.	Otros	15
2.3.	Métodos	16
2.3.1.	Condiciones experimentales para la puesta en marcha de los biodigestores tipo Batch a nivel de laboratorio	16
2.3.2.	Evaluación de la influencia del tratamiento con el producto EM-1 y Melaza en la generación de biogás.....	21
2.3.3.	Evaluar el PBM (Potencial Bioquímico de Metano) generado de la producción de biogás a nivel laboratorio	24
2.3.4.	Analizar la composición química y comparación de la calidad de Biogás obtenido a nivel de laboratorio	26
2.3.5.	Determinar la calidad del biol obtenido mediante ensayos de germinación. .	26
2.4.	Diagrama de flujo de actividades	27
CAPÍTULO III: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		29
3.1.	Establecimiento de condiciones experimentales para el avance de los biodigestores tipo Batch a nivel de laboratorio	29
3.1.1.	Determinación de solidos totales.....	29
3.1.2.	Puesta en marcha de los biodigestores	30
3.2.	Evaluación de la influencia del producto EM-1 vs Melaza en la generación de biogás.....	66
3.2.1.	Producción promedio de biogás de estiércol Bovino	66
3.2.2.	Producción promedio de biogás de estiércol Ovino.....	75
3.2.3.	Producción promedio de biogás de estiércol combinado	85
3.3.	Evaluación del PBM (Potencial Bioquímico de Metano) generado de la producción de biogás a nivel laboratorio	99
3.3.1.	Producción promedio de biogás de estiércol bovino.....	99

3.3.2.	Producción promedio de biogás de estiércol ovino.....	107
3.3.3.	Producción promedio de biogás de estiércol Combinado	115
3.3.4.	Evaluación del PBM generado de la producción de biogás a nivel laboratorio	120
3.4.	Evaluación de la calidad de biogás.....	124
3.4.1.	Comparación de la generación de % de metano de la producción de biogás de diferentes de tipos de estiércol	125
3.5.	Determinar la calidad del biol obtenido mediante ensayos de germinación.	127
3.5.1.	Determinación del % de germinación y altura promedio de semillas de Lactuca Sativa empleando biol bovino al 5% y al 10%.....	130
3.5.2.	Análisis estadístico del % de germinación y altura promedio de semillas de Lactuca Sativa empleando biol ovino al 5% y al 10%	143
3.5.3.	Determinación del % de germinación y altura promedio de semillas de Lactuca Sativa empleando biol combinado al 10%.....	157
3.5.4.	Control.....	172
3.5.5.	Determinación de Coliformes totales	179
3.5.6.	Determinación de composición química del biol.....	182
	CONCLUSIONES	184
	RECOMENDACIONES	186
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	187

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Variables de Indicadores	3
Tabla 2. Composición del biogás	7
Tabla 3. Experimentos realizados en primera fase	21
Tabla 4. Experimentos a realizarse en segunda Fase.....	23
Tabla 5. Diseño experimental tercera fase.....	25
Tabla 6. Determinación de sólidos totales y otras características de las muestras.....	29
Tabla 7. Producción promedio de biogás de estiércol de ganado bovino.....	30
Tabla 8. Resultados estadísticos de la producción de biogás con estiércol bovino E1 – B en primera fase	35
Tabla 9. Prueba de normalidad para producción óptima de biogás de estiércol de.....	36
Tabla 10. Prueba de varianza de Levene para producción óptima de biogás de estiércol de.....	36
Tabla 11. Análisis de varianza para la producción óptima de biogás de estiércol de bovino E1 - B.....	37
Tabla 12. Producción de biogás de estiércol de ganado bovino del tratamiento E2 - B	37
Tabla 13. Prueba de normalidad para producción óptima de biogás de estiércol de ganado bovino E2 -B	38
Tabla 14. Verificación de varianza Levene para producción óptima de biogás de estiercol de ganado bovino con E2-B	38
Tabla 15. Prueba de Kruskal-Wallis para producción óptima de biogás de estiércol de ganado bovino con E2-B.....	39
Tabla 16. Prueba ANOVA para la producción óptima de biogás de E2-B	39
Tabla 17. Producción de biogás día 45 para E1 – B y E2 -B	41
Tabla 18. Prueba de Normalidad para la producción de biogás en el día 45 empleando concentraciones de estiércol bovino E1-B y E2-B	41

Tabla 19. Prueba de Kruskal - Wallis para la producción de biogás al día 45 empleando concentraciones de estiércol bovino E1-B y E2-B	41
Tabla 20. Producción promedio de biogás de estiércol de ganado ovino.....	42
Tabla 21. Producción de biogás con estiércol ovino en E1 – O en primera fase	46
Tabla 22. Prueba de normalidad para la producción de biogás con estiércol de ganado ovino en E1 – O.....	47
Tabla 23. Prueba de verificación de homogeneidad de varianzas de Levene para la producción de biogás con E1 – O.....	47
Tabla 24. Prueba ANOVA para la producción de biogás con E1 – O	47
Tabla 25. Producción de biogás con estiércol ovino en E2 – O en primera fase	48
Tabla 26. Prueba de Levene para producción de biogás con estiércol ovino en E2 – O en primera fase.....	49
Tabla 27. Prueba ANOVA para la producción de biogás con E2 – O	49
Tabla 28. Producción de biogás en el día 45 empleando concentraciones de ovino E1- O y E2-O.....	51
Tabla 29. Estadístico de Levene Levene para la producción de biogás en el día 45 empleando concentraciones de estiércol ovino E1-O y E2-O	51
Tabla 30. ANOVA para la producción de biogás al día 45 empleando concentraciones de estiércol ovino E1-O y E2-O	51
Tabla 31. Producción promedio de biogás de estiércol de ganado combinado.	52
Tabla 32. Producción promedio de biogás de estiércol de ganado combinado en E1 – C en una primera fase.....	57
Tabla 33. Verificación de varianza Levene para producción óptima de biogás de estiércol de ganado combinado.....	58
Tabla 34. Análisis de varianza para la producción óptima de biogás de estiércol de ganado combinado.....	58

Tabla 35. Producción promedio de biogás de estiércol de ganado combinado en una primera fase	59
Tabla 36. Verificación de varianza Levene para producción óptima de biogás de estiércol de ganado combinado	59
Tabla 37. Análisis de varianza para la producción óptima de biogás de estiércol de ganado combinado	59
Tabla 38. Producción de biogás en el día 45 empleando concentraciones de estiércol combinado E1-C y E2-C.....	61
Tabla 39. Verificación de varianza Levene para la producción de biogás en el día 45 empleando concentraciones de estiércol combinado E1-C y E2-C.....	61
Tabla 40. Análisis de varianza para la producción de biogás al día 45 empleando concentraciones de estiércol combinado E1-C y E2-C	62
Tabla 41. Producción promedio de biogás de estiércol Bovino.	66
Tabla 42. Producción promedio de biogás de E1-B-EM1 en una segunda fase.....	70
Tabla 43. Verificación de varianza Levene para producción óptima de biogás de E1-B-EM1	71
Tabla 44. Análisis de varianza para la producción óptima de biogás de E1-B-EM1	71
Tabla 45. Producción promedio de biogás en E2-B-M (sin el producto EM-1) en una segunda fase.....	72
Tabla 46. Verificación de varianza Levene para producción óptima de biogás de E2-B-M.....	72
Tabla 47. Análisis de varianza para la producción óptima de biogás de E2-B- M	72
Tabla 48. Producción de biogás en el día 45 empleando concentraciones de estiércol bovino E1-B-EM1 y E1-B-M.....	74
Tabla 49. Verificación de varianza Levene para la producción de biogás en el día 45 empleando concentraciones de estiércol bovino E1-B-EM1 y E1-B-M	74

Tabla 50. Análisis de varianza para la producción de biogás al día 45 empleando concentraciones de estiércol bovino E1-B-EM1 y E1-B-M.....	74
Tabla 51. Producción promedio de biogás de estiércol de ganado ovino.....	75
Tabla 52. Producción promedio de biogás de estiércol de ganado bovino con el producto EM-1 en una segunda fase.....	80
Tabla 53. Verificación de varianza Levene para producción óptima de biogás de estiércol de ganado ovino	81
Tabla 54. Análisis de varianza para la producción óptima de biogás de estiércol de ganado ovino.....	81
Tabla 55. Producción promedio de biogás de estiércol de ganado ovino con Melaza en una segunda fase	82
Tabla 56. Verificación de varianza Levene para producción óptima de biogás de estiércol de ganado ovino	82
Tabla 57. Análisis de varianza para la producción óptima de biogás de estiércol de ganado ovino	83
Tabla 58. Producción de biogás en el día 45 empleando concentraciones de estiércol ovino E1-O-EM1 y E1-O-M.....	84
Tabla 59. Verificación de varianza Levene para la producción de biogás en el día 45 empleando concentraciones de estiércol ovino E1-O-EM1 y E1-O-M.....	85
Tabla 60. Análisis de varianza para la producción de biogás al día 45 empleando concentraciones de estiércol ovino E1-O-EM1 y E1-O-M	85
Tabla 61. Producción promedio de biogás de estiércol de ganado combinado.....	86
Tabla 62. Producción promedio de biogás con E1-C-EM1 en una segunda fase.....	90
Tabla 63. Verificación de varianza Levene para producción óptima de biogás de estiércol de ganado combinado.....	92
Tabla 64. Análisis de varianza para la producción óptima de biogás de estiércol de ganado combinado.....	¡Error! Marcador no definido.

Tabla 65. Producción promedio de biogás en E2-C-M en una segunda fase.	92
Tabla 66. Verificación de varianza Levene para producción óptima de biogás de estiércol de ganado combinado.....	92
Tabla 67. Análisis de varianza para la producción óptima de biogás de estiércol de ganado combinado	92
Tabla 68. Producción de biogás en el día 45 empleando concentraciones de estiércol combinado E1-C-EM1 y E1-C-M.	94
Tabla 69. Verificación de varianza Levene para la producción de biogás en el día 45 empleando concentraciones de estiércol combinado E1-O-EM1 y E1-O-M	95
Tabla 70. Análisis de varianza para la producción de biogás al día 45 empleando concentraciones de estiércol combinado E1-C-EM1 y E1-C-M	95
Tabla 71. Producción promedio de biogás de estiércol de ganado bovino, tercera fase.	99
Tabla 72. Producción promedio de biogás de estiércol de ganado bovino con melaza. ...	104
Tabla 73. Verificación de varianza Levene para producción óptima de biogás de estiércol de ganado bovino con melaza.	105
Tabla 74. Análisis de varianza para la producción óptima de biogás de estiércol ganado bovino con melaza.	105
Tabla 75. Producción promedio de biogás E2-B-M en una tercera fase.	106
Tabla 76. Verificación de varianza Levene para producción óptima de biogás de estiércol de ganado bovino	106
Tabla 77. Análisis de varianza para la producción óptima de biogás de estiércol de ganado bovino.....	106
Tabla 78. Producción promedio de biogás de estiércol de ganado ovino.....	108
Tabla 79. Producción promedio de biogás de estiércol de ganado ovino con E1-O-M....	112
Tabla 80. Verificación de varianza Levene para producción óptima de biogás de estiércol de ganado ovino E1 – O-M.....	113

Tabla 81. Análisis de varianza para la producción óptima de biogás de estiércol de ganado ovino.....	113
Tabla 82. Producción promedio de biogás de estiércol de ganado ovino con E2-O-M	114
Tabla 83. Verificación de varianza Levene para producción óptima de biogás de estiércol de ganado ovino con E2-O-M.....	114
Tabla 84. Análisis de varianza para la producción óptima de biogás de estiércol de ganado ovino.....	114
Tabla 85. Producción promedio de biogás de estiércol combinado.	116
Tabla 86. Producción promedio de biogás de estiércol de ganado combinado con melaza en una tercera fase.....	120
Tabla 87. Verificación de varianza Levene para producción óptima de biogás de estiércol de ganado combinado con melaza tercera fase	121
Tabla 88. Análisis de varianza para la producción óptima de biogás de estiércol de ganado combinado.....	121
Tabla 89. Producción promedio de biogás de estiércol de ganado combinado con melaza.....	122
Tabla 90. Verificación de varianza Levene para producción óptima de biogás de estiércol de ganado combinado con melaza	122
Tabla 91. Análisis de varianza para la producción óptima de biogás de estiércol de ganado combinado.....	122
Tabla 92. Resultado de análisis en el equipo Biogás 5000 GEOTECH.....	124
Tabla 93. Porcentaje de generación de metano de la producción de biogás de diferentes de tipos de estiércol.....	125
Tabla 94. Verificación de varianza Levene para generación de metano con la aplicación del estiércol de ganado bovino, combinado y ovino	126
Tabla 95. Análisis de varianza para la generación de metano con la aplicación del estiércol de ganado bovino, combinado y ovino en la producción de biogás	126

Tabla 96. Producción promedio de germinación y altura de la planta de <i>Lactuca Sativa</i> , con Biol Bovino.....	128
Tabla 97. Porcentaje de germinación promedio en semillas de <i>Lactuca Sativa</i> empleando biol bovino al 5%.....	130
Tabla 98. Prueba de normalidad Shapiro – Wilk para la germinación promedio en semillas de <i>Lactuca Sativa</i> empleando biol bovino al 5%.....	131
Tabla 99. Prueba de Kruskal-Wallis para producción óptima de biogás de estiércol de ganado bovino.....	131
Tabla 100. Altura promedio en semillas de <i>Lactuca Sativa</i> empleando biol bovino al 5%.....	1322
Tabla 101. Prueba de normalidad Shapiro – Wilk para la altura del crecimiento en semillas de <i>Lactuca Sativa</i> empleando biol bovino al 5%.....	132
Tabla 102. De Kruskal-Wallis para producción óptima de biogás de estiércol de ganado combinado	132
Tabla 103. Germinación promedio (%) en semillas de <i>Lactuca Sativa</i> empleando biol bovino al 10%.....	134
Tabla 104. Pruebas de Normalidad para la germinación promedio en semillas de <i>Lactuca Sativa</i> empleando biol bovino al 10%.....	134
Tabla 105. Prueba de Kruskal-Wallis para la germinación en semillas de <i>Lactuca Sativa</i> empleando biol bovino al 5%	135
Tabla 106. Altura promedio en semillas de <i>Lactuca Sativa</i> empleando biol bovino al 10%.....	135
Tabla 107. Pruebas de Normalidad para la altura del crecimiento en semillas de <i>Lactuca Sativa</i> empleando biol bovino al 10%.....	136
Tabla 108. Prueba de Kruskal-Wallis para la altura del crecimiento en semillas de <i>Lactuca Sativa</i> empleando biol bovino al 10%.....	136
Tabla 109. Porcentaje de germinación en el día 35 empleando concentraciones de estiércol bovino T1-B y T2-B.....	138

Tabla 110. Pruebas de Normalidad para la germinación en semillas de <i>Lactuca Sativa</i> empleando biol bovino a concentraciones de T1-B Y T2-B.	138
Tabla 111. Prueba de Kruskal-Wallis para la germinación en semillas de <i>Lactuca Sativa</i> empleando biol bovino a concentraciones de T1-B Y T2-B	138
Tabla 112. Altura promedio en semillas de <i>Lactuca Sativa</i> empleando biol bovino con concentraciones de T1-B Y T2-B	139
Tabla 113. Pruebas de normalidad para la altura promedio en semillas de <i>Lactuca Sativa</i> empleando biol bovino a concentraciones de T1-O y T2-O.....	140
Tabla 114. Prueba de Kruskal-Wallis para la altura promedio en semillas de <i>Lactuca Sativa</i> empleando biol ovino a concentraciones de T1-B y T2-B	140
Tabla 115. Producción promedio de germinación y altura de la planta de <i>Lactuca Sativa</i> , con biol ovino.	141
Tabla 116. Porcentaje de germinación promedio en semillas de <i>Lactuca Sativa</i> empleando biol ovino al 5%.	144
Tabla 117. Prueba de normalidad para la germinación en semillas de <i>Lactuca Sativa</i> empleando biol ovino al 5%	144
Tabla 118. Prueba de Kruskal-Wallis para la germinación en semillas de <i>Lactuca Sativa</i> empleando biol ovino al 5%	145
Tabla 119. Altura promedio en semillas de <i>Lactuca Sativa</i> empleando biol ovino al 5%.	146
Tabla 120. Prueba de normalidad para la altura del crecimiento en semillas de <i>Lactuca Sativa</i> empleando biol ovino al 5%	146
Tabla 121. Análisis de varianza para la altura del crecimiento en semillas de <i>Lactuca Sativa</i> empleando biol ovino al 5%	146
Tabla 122. Porcentaje de germinación promedio en semillas de <i>Lactuca Sativa</i> empleando biol ovino al 10%.	148
Tabla 123. Pruebas de Normalidad para la germinación en semillas de <i>Lactuca Sativa</i> ..	148

Tabla 124. Prueba de Kruskal-Wallis para la germinación en semillas de Lactuca Sativa empleando biol ovino al 10%	149
Tabla 125. Altura promedio en semillas de Lactuca Sativa empleando biol ovino al 10 %.....	150
Tabla 126. Pruebas de Normalidad para la altura del crecimiento en semillas de Lactuca Sativa empleando biol ovino al 10 %.....	150
Tabla 127. Análisis de varianza para la altura del crecimiento en semillas de Lactuca Sativa empleando biol ovino al 10%	150
Tabla 128. % de germinación en el día 35 empleando concentraciones de biol ovino T1-O y T2-O.....	152
Tabla 129. Pruebas de Normalidad para la germinación en semillas de Lactuca Sativa empleando biol ovino a concentraciones de T1-B Y T2-B.....	152
Tabla 130. Prueba de Kruskal-Wallis para la germinación en semillas de Lactuca Sativa empleando biol ovino a concentraciones de T1-B Y T2-B.....	153
Tabla 131. Altura promedio en semillas de Lactuca Sativa empleando biol ovino con concentraciones de T1-O Y T2-O.....	153
Tabla 132. Pruebas de Normalidad para la altura promedio en semillas de Lactuca Sativa empleando biol ovino a concentraciones de T1-O y T2-O	154
Tabla 133. Prueba de Kruskal-Wallis para la altura promedio en semillas de Lactuca Sativa empleando empleando biol ovino a concentraciones de T1-O y T2-O	154
Tabla 134. Producción promedio de germinación y altura de la planta de semillas de <i>Lactuca Sativa</i> , con Biol Combinado.	155
Tabla 135. % de germinación promedio en semillas de Lactuca Sativa empleando biol combinado al 5%.....	158
Tabla 136. Pruebas de Normalidad para la germinación en semillas de Lactuca Sativa empleando biol combinado al 5%	158
Tabla 137. Prueba de Kruskal-Wallis para la germinación en semillas de Lactuca Sativa empleando biol combinado al 5%	159

Tabla 138. Altura promedio en semillas de Lactuca Sativa empleando biol combinado al 5 %.	160
Tabla 139. Pruebas de Normalidad para la altura del crecimiento en semillas de Lactuca Sativa empleando biol combinado al 5%	160
Tabla 140. Prueba de Kruskal-Wallis para la altura del crecimiento en semillas de Lactuca Sativa empleando biol combinado al 5%	161
Tabla 141. % de germinación promedio en semillas de Lactuca Sativa empleando biol combinado al 10%	162
Tabla 142. Pruebas de normalidad para la germinación en semillas de Lactuca Sativa empleando biol combinado al 10%	163
Tabla 143. Prueba de Kruskal-Wallis para la germinación en semillas de Lactuca Sativa empleando biol combinado 10 %	163
Tabla 144. Altura promedio en semillas de Lactuca Sativa empleando biol combinado al 10 %.	164
Tabla 145. Pruebas de Normalidad para la altura del crecimiento en semillas de Lactuca Sativa empleando biol combinado al 10 %.	164
Tabla 146. Análisis de varianza para la altura del crecimiento en semillas de Lactuca Sativa empleando biol combinado al 10%	165
Tabla 147. % de germinación en el día 35 empleando concentraciones de estiércol compuesto T1-C y T2-C	166
Tabla 148. Pruebas de Normalidad para la germinación en semillas de Lactuca Sativa empleando biol combinado a concentraciones de T1-C Y T2-C.	167
Tabla 149. Prueba de Kruskal-Wallis para la germinación en semillas de Lactuca Sativa empleando biol combinado a concentraciones de T1-C Y T2-C.	167
Tabla 150. Altura promedio en semillas de Lactuca Sativa empleando biol compuesto con concentraciones de T1-C Y T2-C	168
Tabla 151. Pruebas de Normalidad para la altura promedio en semillas de Lactuca Sativa empleando biol combinado a concentraciones de T1-C y T2-C	168

Tabla 152. Prueba de Kruskal-Wallis para la altura promedio en semillas de Lactuca Sativa empleando biol combinado a concentraciones de T1-C y T2-C.....	168
Tabla 153. Producción promedio de germinación y altura de la planta de semillas de <i>Lactuca Sativa</i> , con el Control.	169
Tabla 154. % de germinación promedio en semillas de Lactuca Sativa empleando biol control.....	172
Tabla 155. Pruebas de Normalidad para la germinación en semillas de Lactuca Sativa empleando control	172
Tabla 156. Prueba de Kruskal-Wallis para la germinación en semillas de Lactuca Sativa empleando biol control	173
Tabla 157. Altura promedio en semillas de Lactuca Sativa empleando biol control	173
Tabla 158. Pruebas de Normalidad para la altura del crecimiento en semillas de Lactuca Sativa empleando biol control.	174
Tabla 159. Prueba de Kruskal-Wallis para la altura del crecimiento en semillas de Lactuca Sativa empleando biol control	174
Tabla 160. Resultados del método del NMP	179
Tabla 161. Análisis Químico del biol.....	182

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama del proceso de biodigestión anaeróbica para producir biogás.	8
Figura 2. Ubicación del lugar de ejecución del proyecto	14
Figura 3. Toma de muestra.....	16
Figura 4. Pre - tratamientos de los sustratos.....	17
Figura 5. Tamizado de la materia prima.....	17
Figura 6. Determinación de Sólidos totales.....	18
Figura 7. Diagrama de flujo de establecimiento de condiciones experimentales en los biodigestores tipo Batch a nivel de laboratorio.	19
Figura 8. Elaboración y preparación de los sistemas.....	20
Figura 9. Diagrama de flujo de la influencia del tratamiento melaza vs EM-1 en la generación de biogás.	24
Figura 10. Diagrama de flujo del tratamiento con melaza para la evaluación de biogás	25
Figura 11. Germinación de Lechuga, prueba de biol.	26
Figura 12. Diagrama de flujo de la determinación de la calidad del biol.....	27
Figura 13. Flujograma de actividades del proyecto de tesis.....	28
Figura 14. Producción promedio de biogás de estiércol de ganado bovino.	34
Figura 15. Producción promedio de biogás E1-B (A) y E2-B (B) en función a días transcurridos.	40
Figura 16. Producción promedio de biogás de estiércol de ganado ovino.	45
Figura 17. Producción promedio de biogás en E1-O (A) y E1-O (B) en función a diferentes días.....	50
Figura 18. Producción promedio de biogás de estiércol de ganado combinado de ovino y bovino.....	56

Figura 19. Producción promedio de biogás en E1-C (A) y E1-C (B) en función a días transcurridos.	60
Figura 20. Producción promedio de biogás de estiércol bovino.....	69
Figura 21. Producción promedio de biogás en E1-B-EM1 (A) vs E2-B-M (B) en función a días transcurridos.	73
Figura 22. Producción promedio de biogás de estiércol de ganado ovino.	79
Figura 23. Producción promedio de biogás de E1-O-EM1 (A) vs E2-O-M (B) en función a días transcurridos.	83
Figura 24. Producción promedio de biogás de estiércol de ganado combinado.....	89
Figura 25. Producción promedio de biogás de E1-C-EM1 (A) vs E2 C-M (B) en función a días transcurridos.	93
Figura 26. Producción promedio de biogás de estiércol de ganado bovino, tercera fase..	103
Figura 27. Producción promedio de biogás de E1-B-M (A) vs E2-B-M (B) en función a días transcurridos.	107
Figura 28. Producción promedio de biogás de estiércol de ganado ovino, tercera fase. ...	111
Figura 29. Producción promedio de biogás de E1-O-M (A) vs E2-O-M (B) en función a diferentes días	115
Figura 30. Producción promedio de biogás de estiércol combinado tercera fase.....	119
Figura 31. Producción promedio de biogás de E1-C-M (A) vs E2-C-M (B) en función a días transcurridos.....	123
Figura 32. Producción porcentual de metano, con estiércol bovino, ovino, combinado más los rastrojos de maíz.	126
Figura 33. Germinación de <i>Lactuca Sativa</i> con biol bovino.	129
Figura 34. Producción promedio de altura de la planta <i>Lactuca Sativa</i> con Biol Bovino.	129
Figura 35. Germinación (%) y altura promedio en semillas de <i>Lactuca Sativa</i> empleando biol bovino al 5% en función a diferentes días	133

Figura 36. Porcentaje de germinación (A) y altura (B) promedio en semillas de <i>Lactuca Sativa</i> (ml) empleando biol bovino al 10% .	137
Figura 37. Producción promedio de germinación de <i>Lactuca Sativa</i> con Biol Ovino.	142
Figura 38. Producción promedio de altura de la planta de <i>Lactuca Sativa</i> .con Biol Ovino.	143
Figura 39. Porcentaje de germinación (A) y Altura (B) promedio en semillas de <i>Lactuca Sativa</i> (ml) empleando biol ovino al 5 % en función a diferentes días.	147
Figura 40. % de Germinación (A) y Altura (B) promedio en semillas de <i>Lactuca Sativa</i> (ml) empleando biol ovino al 10 % en función a diferentes días	151
Figura 41. Producción promedio de germinación de <i>Lactuca Sativa</i> con Biol Combinado.....	156
Figura 42. Producción promedio de altura de la planta de <i>Lactuca Sativa</i> con Biol Combinado.....	157
Figura 43. % de Germinación (A) y Altura (B) promedio en semillas de <i>Lactuca Sativa</i> (ml) empleando biol combinado al 5 % en función a diferentes.	161
Figura 44. % de Germinación (A) y Altura (B) promedio en semillas de <i>Lactuca Sativa</i> (ml) empleando biol combinado al 10% en función a diferentes días.....	165
Figura 45. Comparación del % de germinación de <i>Lactuca Sativa</i> con el T1 en los tipos de biol (bovino, ovino y combinado) y el control.	170
Figura 46. Comparación de la altura de la planta <i>Lactuca Sativa</i> con el T1 en los tipos de biol (bovino, ovino y combinado) y el control.	170
Figura 47. Comparación del % de germinación de <i>Lactuca Sativa</i> con el T2 en los tipos de biol (bovino, ovino y combinado) y el control.....	171
Figura 48. Comparación de la altura de la planta <i>Lactuca Sativa</i> con el T2 en los tipos de biol (bovino, ovino y combinado) y el control.	171
Figura 49. % de Germinación (A) y Altura (B) promedio en semillas de <i>Lactuca Sativa</i> (ml) empleando biol control en función a diferentes días	175

Figura 50. Comparación altura vs Tiempo de altura del efecto del biol en *Lactuca Sativa*. 175

Figura 51. Comparación altura vs Tiempo de germinación del efecto del biol en *Lactuca Sativa*. 176

Figura 52. Germinación de semillas de *Lactuca Sativa* 177

Figura 53. Determinación del Método del número más probable. 182



ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Informes de laboratorio.....	197
Anexo 2. Tablas de Referencia.....	204
Anexo 3. Gráficos estadísticos	206
Anexo 4. Panel fotográfico.....	212



INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, la ganadería se ubica entre las principales actividades con mayor impacto negativo en el medio ambiente. Este sector es una de las fuentes más relevantes de contaminación terrestre, ya que libera nutrientes, materia orgánica, patógenos y restos de fármacos en cuerpos de agua como ríos, lagos y áreas costeras. Asimismo, los animales y sus desechos generan emisiones de gases que favorecen el cambio climático (1).

Se estima que alrededor de 14.5% de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) a nivel global, son emitidas por la actividad ganadera. Así mismo, el impacto climático que provoca el sector se debe las diferentes actividades que involucra la conversión de tierras, la producción de insumos alimenticios, el manejo de residuos orgánicos, la cría de ganado y las etapas de procesamiento y transporte, las cuales liberan principalmente dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O) (2).

La fermentación entérica, conocida como el proceso digestivo natural que ocurre en el sistema gastrointestinal de animales rumiantes como vacas, ovejas, cabras y otros herbívoros, es considerada como una de las fuentes principales de metano agrícola, siendo este un gas de efecto invernadero con mayor potencial de calentamiento global que CO_2 . En países andinos como Ecuador, Colombia, Bolivia y Perú, este proceso aporta entre el 8 % y el 14 % de las emisiones totales de gases de efecto invernadero y, dentro del sector ganadero, este proceso representa entre el 86 % y el 94 % de las emisiones, siendo el ganado bovino la principal fuente de este impacto ambiental (3).

En este contexto, Hernández et al. (4) señala que alrededor del 80% de los desechos de estiércol se disponen inadecuadamente en los suelos en espacios abiertos, generando acumulación y descomposición. Por su parte, Castro et al. (5) expone que, en promedio, por cada 100 kilogramos de peso vivo, el ganado bovino produce alrededor de 8 kilogramos de estiércol, los equinos aproximadamente 3,8 kilogramos y los porcinos cerca de 2 kilogramos.

No obstante, el estiércol no debe considerarse únicamente como un desecho, sino también como una reserva de energía cuya fuente primaria es la radiación solar. Este ciclo se inicia cuando las plantas capturan y almacenan energía a través de la fotosíntesis, posteriormente son consumidas por los animales y sus restos son excretados. Dicho subproducto puede aprovecharse mediante el uso de biodigestores, dispositivos diseñados para transformar la materia orgánica en energía a través de tecnologías específicas (4).

A pesar de su potencial energético y de su valor como recurso para la generación de biogás o fertilizantes orgánicos, el manejo del estiércol continúa siendo limitado y poco tecnificado. Este escenario es evidente en las actividades ganaderas de la región de Arequipa, donde se ha observado que gran parte de estos desechos se dispone de manera inadecuada, generando impactos ambientales como la contaminación de suelos y cuerpos de agua, además de emisiones de gases de efecto invernadero, en lugar de ser utilizados como insumo en sistemas sostenibles de producción energética o agrícola.

En este contexto, la implementación de biodigestores se presenta como una alternativa eficaz para el aprovechamiento de los desechos animales, contribuyendo a reducir la contaminación derivada de su manejo inadecuado y permitiendo, al mismo tiempo, la producción de biogás y energía renovable (6). Además, la transformación de residuos orgánicos en biogás a través de procesos de digestión anaerobia constituye un aporte relevante al fortalecimiento de la economía circular, al permitir la valorización de estos desechos. Este enfoque no solo facilita la generación de energía renovable, sino que también produce un subproducto que puede emplearse como biofertilizante, favoreciendo una gestión más sostenible y eficiente de los residuos orgánicos. Dicho subproducto contiene una parte líquida denominada biol, cuya composición permite proporcionar materia orgánica, elementos menores (micronutrientes), elementos mayores (macronutrientes), por lo cual es considerado como una alternativa para reducir el uso de químicos agrícolas que perjudican la salud humana (7).

Ante esta problemática, la presente investigación se planteó evaluar el PBM (Potencial Bioquímico de Metano) generado a partir de estiércol bovino, ovino, rastrojos de cultivo estudiando el efecto del uso de macroorganismos eficaces (EM-1), en la calidad de biometano y biol a nivel laboratorio.

HIPÓTESIS

Hipótesis nula (H_0): El PBM (Potencial Bioquímico de Metano) generado a partir de estiércol bovino, ovino y rastrojos de cultivo, con o sin la adición de EM-1, no presenta diferencias significativas en la calidad del biometano ni en las características del biol producido a nivel de laboratorio.

Hipótesis alterna: (H_a): El PBM (Potencial Bioquímico de Metano) generado a partir de estiércol bovino, ovino y rastrojos de cultivo, con la adición de EM-1, presenta diferencias

significativas en la calidad del biometano y en las características del biol producido a nivel de laboratorio.

OBJETIVOS OBJETIVO GENERAL

Evaluar el PBM (Potencial Bioquímico de Metano) generado a partir de estiércol bovino, ovino, rastrojos de cultivo y el efecto del producto EM-1, en la calidad de biometano y biol a nivel laboratorio.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Establecer condiciones experimentales para el avance de los biodigestores tipo Batch a nivel de laboratorio.
- ✓ Evaluar la influencia del tratamiento Melaza vs el producto EM-1 en la generación de biogás.
- ✓ Evaluar el PBM (Potencial Bioquímico de Metano) generado de la producción de biogás a nivel laboratorio
- ✓ Analizar la composición química y comparar la calidad de biogás obtenido a nivel de laboratorio.
- ✓ Determinar la calidad del biol obtenido mediante ensayos de germinación.

VARIABLES E INDICADORES

Se describen en la Tabla 1.

Tabla 1. Variables de Indicadores

Proceso	Tipo de variable	Nombre de la variable	Indicador	Unidades	Niveles
Obtención del biogás	V. Independiente	Mezcla	Tipo de estiércol Cantidad Rastrojo Volumen de agua	% w/w	Estiércol bovino Estiércol ovino Estiércol combinado (bovino +ovino)
		Tratamiento EM-1 vs Melaza	EM-1 y Solo melaza		% w/w
	V. Dependiente	Producción de biogás	Volumen de biogás obtenido	ml	-
Evaluación del PBM	V. Independiente	Acumulación de metano	Presencia de metano	SI / NO	-

Proceso	Tipo de variable	Nombre de la variable	Indicador	Unidades	Niveles
(Potencial Bioquímico de Metano)	V. Dependiente	PBM	Cantidad de metano	% CH ₄	-
	V. Independiente	Fermentación del biol	Presencia del biol	SI / NO	-
Obtención del biol	V. Dependiente	Producción de biol	Volumen de biol	mL	-
	V. Independiente	Tratamiento con biol	Concentración del biol.	% biol	T1 (5 %) T2 (10%) T0 (Control)
Evaluación de la calidad del biol	V. Independiente	Biol	Tipo de biol	-	Biol. Bovino Biol. Ovino Biol. Combinado (bovino + ovino)
	V. Dependiente	Calidad del biol	Germinación	% de germinación	<i>Lactuca sativa</i>
			Altura	cm	
			Tiempo	días	
			Número más probable de coliformes totales	UFC/g	
			Concentración de materia orgánica	% materia orgánica	
			Concentración de Carbono	% carbono	
			Concentración de Nitrógeno	% nitrógeno	
Conductividad eléctrica	μS/cm ³				

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1. Biocombustibles

Los biocombustibles, también conocidos como bioenergéticos, son fuentes de energía renovable obtenidas de manera directa o indirecta a partir de biomasa, es decir, de materiales de origen biológico no fósil. Entre estos se incluyen la leña, el estiércol animal, el carbón vegetal, el biogás, el biohidrógeno, el bioalcohol, la biomasa microbiana, así como residuos agrícolas y forestales, sus subproductos y cultivos destinados específicamente a la producción energética (8).

La biomasa de origen agroindustrial constituye una fuente de energía renovable obtenida a partir de los residuos generados en las actividades agrícolas y en la industria alimentaria. Este tipo de biomasa abarca diversos materiales, como las cáscaras de frutas y verduras, el bagazo de caña de azúcar, la cáscara de arroz y otros subproductos agrícolas; así como desechos de la industria alimentaria, entre ellos cáscaras de huevo, huesos, grasas y aceites usados. También se incluyen residuos provenientes de la fabricación de papel y cartón, tales como pulpa de madera y papel recuperado, además de los derivados de la industria textil, como fibras naturales de algodón, lana y otras materias primas de origen biológico (8).

1.2. Tipos de Biocombustibles

Los biocombustibles se clasifican según la materia prima utilizada y el proceso de producción, en primera, segunda, tercera y cuarta generación. Los biocombustibles de primera generación (1G) se producen a partir de biomasa obtenida directamente de cultivos agrícolas, aprovechando componentes como almidones, azúcares, celulosa y aceites presentes en especies como maíz, caña de azúcar, trigo, remolacha y soja, entre otro (9)

Los biocombustibles de segunda generación (2G) se producen a partir de materiales lignocelulósicos provenientes principalmente de residuos agrícolas como paja y tallos, desechos forestales como ramas, restos de poda y aserrín, así como de residuos orgánicos urbanos, entre ellos cáscaras de frutas y bagazos. A diferencia de los biocombustibles de primera generación, esta alternativa permite aprovechar grandes volúmenes de desechos, reincorporando la biomasa a un ciclo productivo en lugar de descartarla, lo que contribuye a modelos de economía circular y desarrollo sostenible, más aceptados socialmente. Sin

embargo, debido a la complejidad de estos residuos y a los procesos requeridos para recuperar sus nutrientes y componentes energéticos, la producción de biocombustibles 2G exige tratamientos especializados, lo que incrementa los costos y dificulta su comercialización y la inversión en proyectos de este tipo (10).

Los biocombustibles de tercera generación (3G), también conocidos como “biocombustibles avanzados”, se obtienen a partir de biomasa de microalgas, lo que representa una ventaja importante al no competir con productos destinados al consumo alimentario. Además de las algas, este tipo de biocombustibles incluye el uso de microorganismos como hongos, levaduras y bacterias. Aunque su cultivo puede realizarse en lagunas o estanques poco profundos, requiere condiciones estrictamente controladas de temperatura y nutrientes, lo que incrementa significativamente los costos energéticos de producción (9).

Finalmente, los biocombustibles de cuarta generación (4G) se desarrollan a partir de materia prima o insumos genéticamente modificados, principalmente microorganismos como levaduras y algas. Las investigaciones actuales en este campo buscan optimizar la tolerancia de estos organismos y su capacidad de aprovechar nutrientes durante el proceso de producción, lo que implica modificaciones específicas en estructuras como su pared celular y en ciertas proteínas (9).

1.3. Biogás

Generalidades

El biogás es un vector energético sostenible que puede generarse a partir de múltiples fuentes como vertederos, procesos de digestión anaerobia de residuos orgánicos, lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales, estiércol de producción animal o cultivos destinados a la producción energética. La composición del biogás crudo depende principalmente de las características del sustrato utilizado y del diseño del proceso de producción (11).

El biogás es el resultado de un proceso biológico conocido como digestión anaerobia, en el cual diversos grupos de microorganismos descomponen la materia orgánica a través de diferentes rutas metabólicas. Este procedimiento, conocido desde tiempos antiguos, ha sido empleado durante siglos en entornos domésticos para la generación de calor y energía (12).

Características y composición

En cuanto a sus características principales, el biogás se constituye como un combustible con una densidad aproximada de 1,133 kg/m³ y un contenido energético medio de alrededor de 22 MJ por metro cúbico, lo que equivale a una generación aproximada de 6,35 kWh de energía eléctrica por cada metro cúbico producido. Su composición típica está conformada por cerca de un 55 % de metano (CH₄) y un 45 % de dióxido de carbono (CO₂), además de pequeñas cantidades de otros compuestos traza y contaminantes (6). En la Tabla 1, se muestra una composición típica del biogás.

Tabla 2. Composición del biogás

Componente	Fórmula	Porcentaje v/v
Metano	CH ₄	40 - 70
Dióxido de Carbono	CO ₂	30 - 60
Hidrógeno	H ₂	0.1
Nitrógeno	N ₂	0.5
Monóxido de carbono	CO	0.1
Oxígeno	O ₂	0.1
Sulfuro de hidrógeno	H ₂ S	0.1

*Composición típica del biogás. Tomado de (9).

Proceso de producción

La generación de biogás se lleva a cabo mediante un proceso metabólico conocido como digestión anaerobia (DA), el cual se desarrolla en cuatro fases sucesivas: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis. En la etapa de hidrólisis, las enzimas extracelulares producidas por bacterias hidrolíticas descomponen macromoléculas como proteínas, carbohidratos y lípidos en compuestos más simples y solubles, tales como aminoácidos, azúcares y ácidos grasos. Posteriormente, en la acidogénesis o fase fermentativa, estos productos son transformados principalmente en ácido acético, alcoholes, hidrógeno y dióxido de carbono. La siguiente etapa, la acetogénesis, convierte los ácidos

grasos en ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono, los cuales sirven de base para la metanogénesis, fase final en la que estos compuestos son aprovechados por microorganismos metanogénicos para producir metano, principal componente del biogás (9). En la Figura 1, se puede observar un diagrama del proceso de producción de biogás.

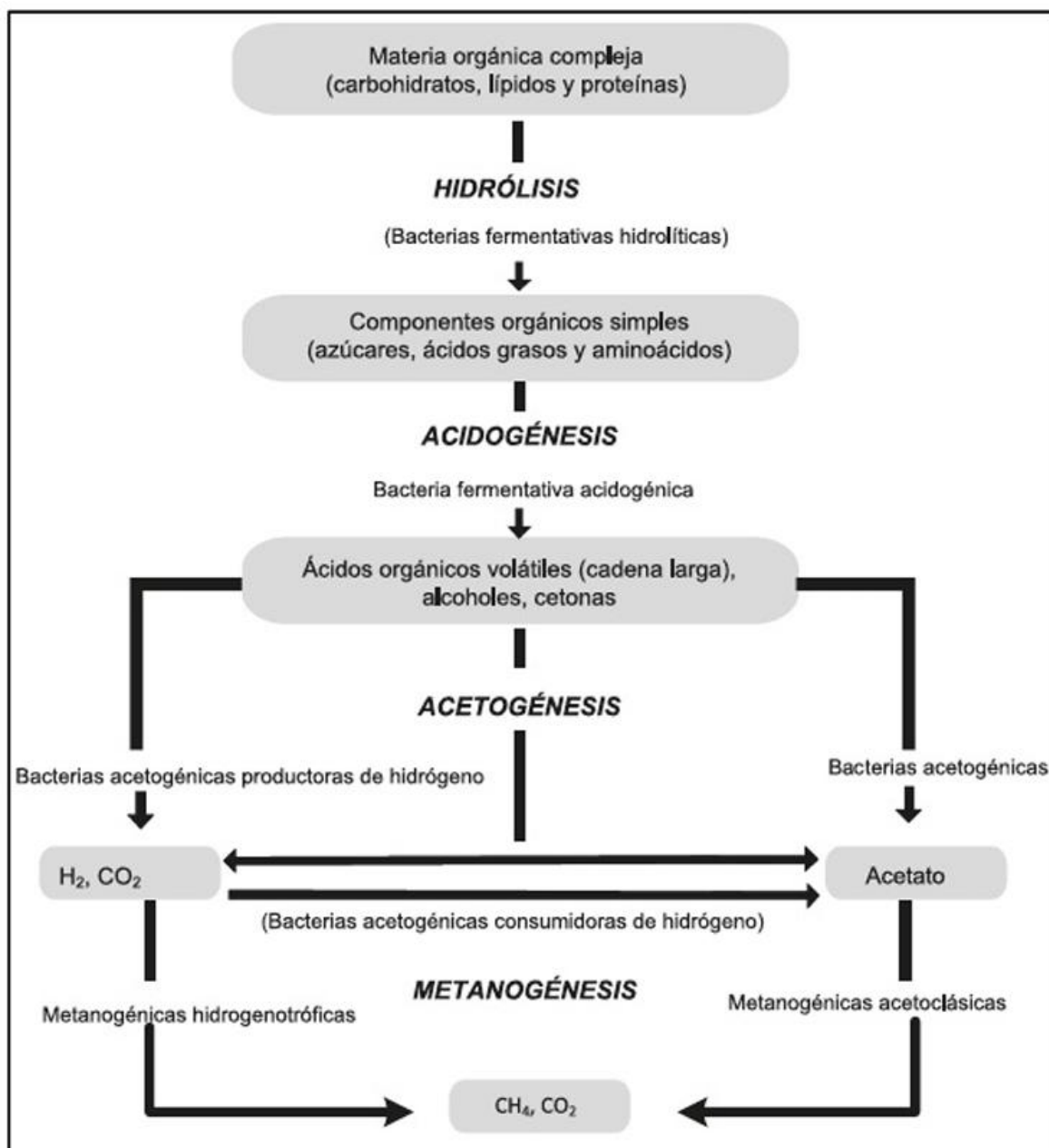


Figura 1. Diagrama del proceso de biodigestión anaeróbica para producir biogás.

Fuente: Tomado de (9).

Materias primas para la producción de biogás

En la actualidad, la mayor parte de las plantas de biogás emplea estiércol de ganado combinado con distintos sustratos como materia prima, con el propósito de aumentar la generación de biogás. Estos sustratos pueden incluir residuos agrícolas, restos de alimentos y desechos domésticos (13). La materia prima destinada a la producción de biogás se clasifica en diferentes categorías:

- Residuos de animales: comprenden estiércol y purines provenientes de vacas, caballos y aves de corral. La generación de metano puede llegar hasta un 60%, mientras que los subproductos resultantes se aprovechan como alternativa a los fertilizantes (14)
- Residuos de la industria alimentaria: incluye los residuos de frutas, verduras, lácteos, harinas, así como subproductos de salvado, arroz y papa, pueden emplearse como insumos para la generación de biogás a través de digestión anaerobia. Este proceso contribuye a una mejor gestión de desechos y promueve la agricultura sostenible mediante la utilización de los digestatos, subproductos de la digestión anaerobia, como fertilizantes (13).
- Fracción orgánica de residuos sólidos urbanos: incluyen residuos de jardinería, papel, cáscaras de frutas y verduras, hojas y restos de alimentos, entre otros (14).
- Lodos de tratamiento de aguas: estos lodos poseen metanógenos, lo que asegura la generación de metano a través de la digestión anaerobia. Asimismo, al ser una fuente de gases de efecto invernadero, su aprovechamiento como insumo para la producción de biogás resulta una alternativa aún más favorable (15).

1.4. Biodigestores

Un biodigestor es un contenedor hermético e impermeable en el que se introduce la biomasa para su transformación. A lo largo del tiempo se han desarrollado distintos tipos de biodigestores, algunos más destacados que otros debido a su capacidad de producción de biogás, su bajo costo de implementación o su mayor durabilidad (16). Entre ellos, existen modelos que se han posicionado como los más reconocidos a nivel mundial:

- Biodigestor campana flotante: este modelo de biodigestor está conformado por un tanque vertical elaborado en fibra de vidrio reforzado. El reactor se construye con

paredes y base de ladrillo, e incorpora una campana destinada a la recolección del biogás producido. Gracias a esta campana se mantiene una presión constante dentro del sistema, lo que permite un funcionamiento más eficiente del proceso (17).

- Biodigestor de domo fijo: los biodigestores de domo fijo se construyen principalmente con ladrillos y hormigón, y se diferencian por no poseer una campana flotante para almacenar el biogás. En este sistema, el gas generado permanece a un volumen constante en el interior del biodigestor, mientras que la presión varía en función de la producción o liberación del biogás. Una de sus principales ventajas es su larga durabilidad, ya que pueden alcanzar una vida útil cercana a los 20 años (18).
- Biodigestor de estructura flexible: este tipo de biodigestor surge como alternativa para reducir costos, ya que los modelos anteriores resultaban poco accesibles debido a sus procesos de construcción. Para ello, se modificaron tanto los materiales como la estructura, reemplazando los ladrillos, el cemento y el hormigón por polietileno, con el fin de crear una bolsa capaz de almacenar tanto el biogás generado como el sustrato (18).

1.5. Parámetros de control en el proceso de biodigestión

La generación de biogás en un biodigestor está condicionada al adecuado funcionamiento del proceso de digestión anaerobia, el cual a su vez se encuentra determinado por cinco parámetros fundamentales: el pH, la temperatura, la relación carbono/nitrógeno (C/N), el tiempo de retención hidráulica y la carga orgánica (9).

a. pH: es el parámetro que refleja la concentración de iones hidrógeno o hidroxilo en un medio. En el proceso de digestión anaerobia, este factor resulta crucial, ya que los microorganismos metanogénicos son muy sensibles a variaciones extremas. Valores por debajo de 6.5 o superiores a 8.0 afectan negativamente su actividad, de modo que cualquier desviación fuera del rango cercano a la neutralidad puede ocasionar una disminución significativa, e incluso la inhibición, de la actividad bacteriana (19).

b. Temperatura: la temperatura es un factor determinante en la velocidad de degradación de la materia orgánica y, por consiguiente, en la generación de biogás. A medida que esta se incrementa, se acelera la hidrólisis de compuestos orgánicos complejos y se favorece el desarrollo microbiano. Para alcanzar una producción óptima

de biogás, el proceso de digestión puede llevarse a cabo en distintos rangos: psicrófilico (menos de 20 °C), mesófilico (entre 25 °C y 40 °C) y termófilico (entre 45 °C y 60 °C) (16).

c. Relación carbono y nitrógeno (C/N): este parámetro refleja la proporción de carbono, nitrógeno y fósforo presentes en el sustrato, elementos esenciales para el desarrollo de los microorganismos. La relación considerada óptima es de 100:30:1, ya que desviaciones respecto a este equilibrio pueden generar problemas como una baja capacidad tampón o una deficiencia de nutrientes (20).

d. Tiempo de retención hidráulica: el tiempo de retención hidráulica es un parámetro fundamental en la digestión anaerobia, pues debe ser lo suficientemente amplio para asegurar tanto la fase de hidrólisis como la actividad metanogénica, la cual generalmente se inicia entre los 5 y 15 días de retención (20).

e. Carga orgánica alimentada: en un proceso continuo, resulta fundamental definir con precisión la cantidad de materia orgánica que se incorporará en función del tiempo de retención hidráulica. Un exceso en la carga puede desestabilizar el sistema, ya que las bacterias acidogénicas generarían ácidos a un ritmo acelerado, mientras que las metanogénicas no serían capaces de consumirlos con la misma rapidez (9).

1.6. Biol

El biol es un fertilizante orgánico de carácter líquido, obtenido en el biodigestor mediante la fermentación de estiércol animal y restos vegetales. Como fertilizante orgánico, favorece el crecimiento y desarrollo de las plantas, además de brindarles protección frente al ataque de plagas y enfermedades. También contribuye a mantener su vitalidad y a mejorar su adaptación al entorno, siendo particularmente beneficioso ante cambios bruscos de condiciones climáticas, como heladas o granizadas (21).

El biol es uno de los fertilizantes orgánicos más utilizados en la agricultura orgánica. En su estado líquido, pasa por un proceso de fermentación y puede ser aplicado tanto en el suelo como a nivel foliar. Este tipo de fertilizante orgánico por lo general es obtenido mediante una descomposición anaeróbica del estiércol de animales y de residuos vegetales (22). Dada

su composición microbiológica, el biol puede aportar materia orgánica, micronutrientes y macronutrientes otorgando diversos beneficios (7).

1.7. Microorganismos eficientes (EM)

Los microorganismos eficientes (EM) son preparados líquidos que reúnen más de 80 especies microbianas, entre ellas aeróbicas, anaeróbicas e incluso fotosintéticas, capaces de convivir en equilibrio como comunidades y complementarse entre sí. Estos microorganismos han mostrado múltiples beneficios, entre los que destacan el tratamiento de aguas residuales, la disminución de olores desagradables, la obtención de alimentos sin agroquímicos, así como la gestión de residuos sólidos y líquidos generados en la agricultura, la industria alimentaria, las plantas de papel, los mataderos y los municipios, entre otros (23).

Estos microorganismos beneficiosos (como *Rhodopseudomonas spp.*, *Lactobacillus spp.*, *Sacharomyces spp.*, actinomicetos y hongos fermentadores), se obtienen directamente de la naturaleza sin alteraciones genéticas y tienen la capacidad de coexistir entre sí, lo que contribuye a mantener un ambiente equilibrado, además de favorecer condiciones sanitarias y ambientales adecuadas en la producción agropecuaria (24).

1.7.1. Composición y beneficios del uso de EM-1

El EM-1 es un patógeno bacteriano simbiótico que promueve el crecimiento de las plantas e inhibe la presencia de plagas y enfermedades. Está compuesto por bacterias fotosintéticas (*Rhodopseudomonas spp*), bacterias ácido-lácticas (*Lactobacillus spp*), levaduras (*Saccharomyces spp*). Viene en forma líquida y contiene diferentes grupos de microorganismos, que incluyen bacterias como las mencionadas anteriormente. Debido a la coexistencia de estos microorganismos, EM-1 y los metabolitos que contiene son capaces de activar microorganismos nativos en diversos ambientes y condiciones y en muchos campos diferentes como agricultura, ganadería, purificación ambiental y cuidado de la salud. Actualmente, EM -1 se fabrica en más de 50 países bajo la supervisión directa de EMRO y los microorganismos utilizados son estables para garantizar el control de calidad y permitir el almacenamiento a largo plazo, sin embargo, alimentarlos los activa y hace que se multipliquen, haciendo que se forme "EM -1 activado", el cual es el producto activado con la melaza y su uso se puede emplear 20 veces en relación con el volumen (25).

EM-1 se puede ampliar, solo una vez, para mantener el equilibrio de los microbios, y la solución ampliada se denomina “EM-1 activada”. Con la melaza como alimento, los microorganismos en EM-1 trabajan activamente y su número aumenta. Puede expandirse aproximadamente 20 veces en relación con el volumen y usarse generosamente para muchos propósitos diferentes (25).



CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Lugar de ejecución

La fase experimental se llevó a cabo en zona de Pampas de Polanco en el distrito de Alto Selva Alegre ubicado en la ciudad de Arequipa.



Figura 2. Ubicación del lugar de ejecución del proyecto.

Nota: Tomado de *Google Earth*.

2.2. Materiales

2.2.1. *Material biológico (Cepas microbianas, líneas celulares, organismos)*

- 39 kilos de estiércol ovino y bovino
- 18 kilos rastrojos
- 40 litros de agua

2.2.2. *Insumos*

- 1 L de EM-1 al 5%
- 3 L de Melaza
- 18 L de Agua de acequia

2.2.3. *Reactivos químicos*

Hidróxido de sodio Na(OH)

2.2.4. Materiales de laboratorio (vidrio, porcelana, metal, etc.)

- 6 termostatos de pecera
- 1 balanza
- 1 estufa o horno
- 2 termómetro
- 9 probetas de 500ml
- Banditas de pH

2.2.5. Aparatos y equipos

- 6 termostatos de pecera
- 1 balanza
- 1 estufa o horno
- 2 termómetro

2.2.6. Otros

- 2 pares de guantes de látex
- 4 barbijos
- 3 costales
- 34 botellas de 4 litros
- 4 baldes de 20L
- 34 equipos de venoclisis
- 34 mangueras para acuarios de medio metro
- 2 asaderas pequeñas
- 2 cucharones de madera
- 1 jarra de 1L
- 2 pegamento
- 1 envase grande

2.3. Métodos

2.3.1. Condiciones experimentales para la puesta en marcha de los biodigestores tipo Batch a nivel de laboratorio

1. Toma de muestras y preparación de la materia Prima

Para esta primera parte se tomaron muestras de una granja ubicada en el distrito de Cerro Colorado -Zamácola. Las muestras fueron de 27 kg de estiércol bovino, 27 kg de estiércol ovino y 18 kilos de rastrojos de cultivo, los cuales fueron recogidos en sacos grandes como se ilustra en la Figura 3.

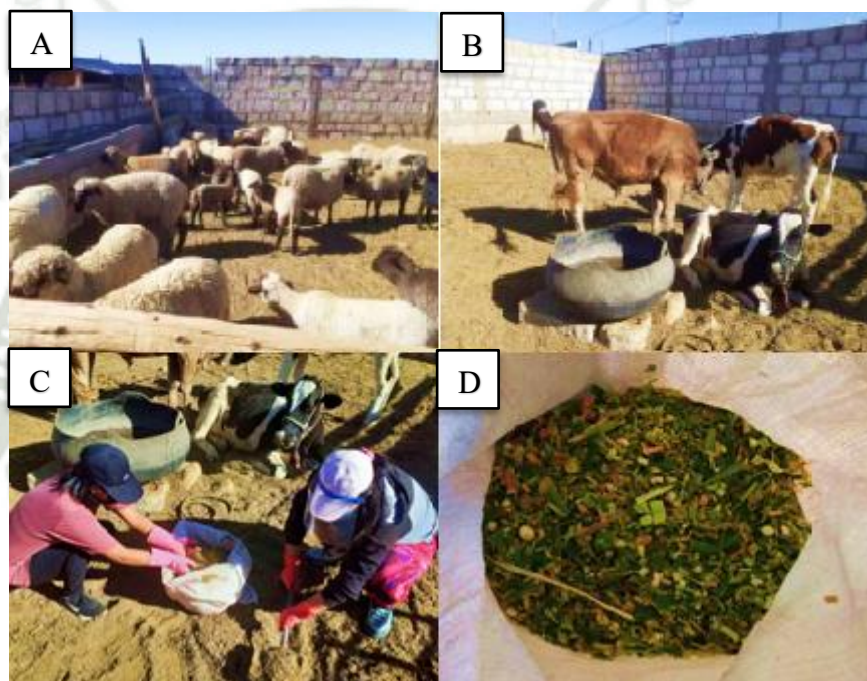


Figura 3. Toma de muestra

Fuente: elaboración propia.

En la **Figura 3**, se observa en A) el ganado ovino de la granja; en B) el ganado bovino de la granja ; en C) la toma de muestra del estiércol bovino y en D) los rastrojos de maíz.

Posteriormente las muestras fueron llevadas al distrito de Alto Selva Alegre donde fueron tratadas. El tratamiento de la materia prima que ingreso al biodigestor inicio con la recepción y pesado del estiércol de ambos rumiantes. Para llevar a cabo su pretratamiento, se dejó secar las materias primas a exposición solar a temperatura ambiente por 3 días. Posteriormente fueron triturados para después pasar por una rejilla de 1cm y eliminar de esta forma,

cualquier material grueso y a su vez aumentar el área superficial para que los microorganismos puedan descomponer el sustrato.

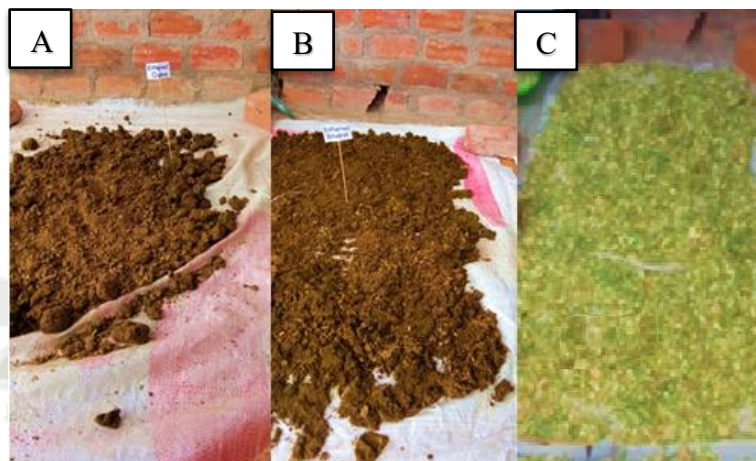


Figura 4. Pre - tratamientos de los sustratos.

Fuente: elaboración propia

En la **Figura 4**, se observa en A) el pretratamiento de estiércol bovino; en B) el estiércol ovino expuesto a temperatura ambiente y en C) los rastrojos de maíz expuestos a temperatura ambiente y luz solar.

Como se aprecia en la Figura 5, seguidamente, se tamizaron los diferentes tipos de estiércol a través de un tamiz para obtener una mayor homogeneidad del tamaño de la muestra y eliminar impurezas.



Figura 5. Tamizado de la materia prima

Fuente: elaboración propia

2. Determinación de sólidos totales

Sé siguió la metodología de Magaña et al. (26) para todos los sólidos, las cápsulas cerámicas se colocaron en un horno a 100°C durante 24 horas posteriormente se trasladaron inmediatamente a un desecador para que se seque y luego enfríe a temperatura ambiente, luego fueron transferidas a una balanza analítica y fueron pesadas una por una, para la evaluación de la tara. Luego se agregaron las muestras de heces a las cápsulas de crisol y fueron introducidas nuevamente en la estufa durante 24 horas. Al culminar este tiempo se pesaron las cápsulas de crisol con las muestras obteniéndose así la cantidad de sólidos totales.

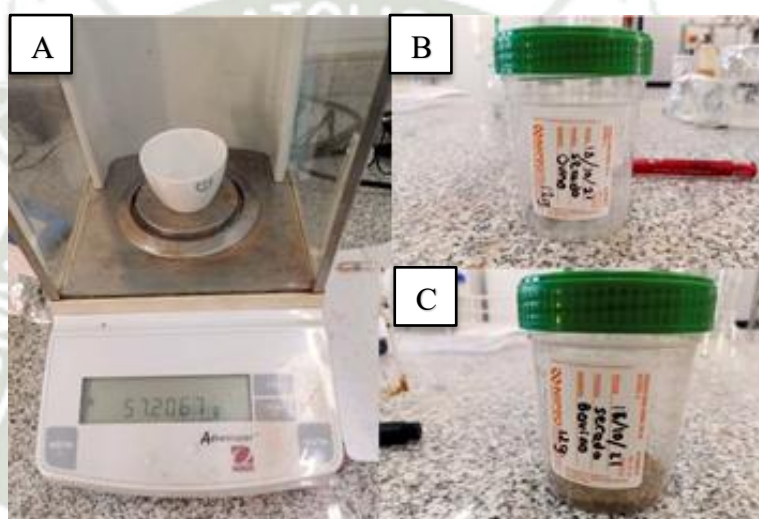


Figura 6. Determinación de Sólidos totales

Fuente: elaboración propia

En la Figura 6, se observa en A) el pesado de los sólidos de la muestra (estiércol bovino, ovino y rastrojos) después de las 24 horas en estufa ; en B) la muestra seca de estiércol ovino y en C) la muestra seca de estiércol bovino.

Después, se enviaron las muestras presentes al laboratorio LABISERV para la determinación de la relación carbono/ nitrógeno.

Luego se procedió a resolver el porcentaje de humedad en la siguiente fórmula (28) :

$$\text{Porcentaje de humedad} = \frac{\text{Peso Muestra Fresca} - \text{Peso Muestra Seca}}{\text{Peso Muestra Fresca}} \times 100$$

Al diluir el 1.5 de heces con agua destilada se determinó el pH, el cual se midió al inicio y al final del proceso de destilación.

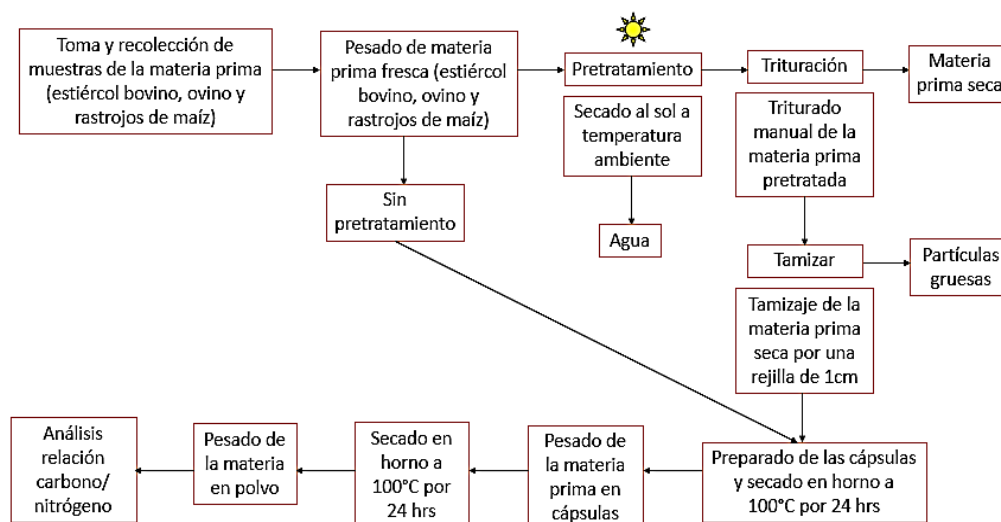


Figura 7. Diagrama de flujo de establecimiento de condiciones experimentales en los biodigestores tipo Batch a nivel de laboratorio.

Fuente: elaboración propia

3. Diseño y construcción de biodigestores tipo batch

Por otro lado, se diseñó y construyó 18 biodigestores tipo Batch para la primera fase que consistía en un diseño experimental para la evaluación de concentraciones, los cuales fueron elaborados en de botellas de 4 L que fueron pintadas de color negro con el propósito de retener el calor con mayor intensidad dentro del digestor, a su vez estas estaban conectadas a una manguera de pecera cada uno, de los cuales cada uno estará sumergido debajo de una probeta de 1000 mL que se encontraba invertida en agua para poder medir la cantidad de gas generado en cada digestor.

Para la segunda fase se construyeron otros 18 biodigestores tipo Batch, cabe mencionar que todos los digestores tuvieron las mismas dimensiones, estas también se encontraban conectadas a una manguera de pecera cada uno, de los cuales cada uno estaba sumergido debajo de una probeta de 1000 mL que se encontraba invertida en agua para poder medir la cantidad gas generado en cada digestor.

Para la tercera fase se construyeron, otros 18 biodigestores tipo Batch, los cuales tuvieron las mismas dimensiones mencionadas anteriormente y siguieron el mismo patrón de

ensamblamiento de la primera fase, solo que a diferencia de las otras fases se añadió una manguera extra de pecera y cada una de estas fueron conectadas a envases de vidrios de 750 mL que contenían un concentrado de hidróxido de sodio el cual nos ayudó a purificar nuestro Biogás, al absorber el CO_2 presente en el biogás, dado que el gas de salida está compuesto principalmente por CH_4 y CO_2 , la diferencia de volúmenes permite determinar la composición porcentual de compuestos en el gas de salida. Para la última fase se construyeron, otros 3 biodigestores tipo Batch para los mejores resultados obtenidos de la tercera fase, los cuales tuvieron las mismas dimensiones mencionadas anteriormente, estas estaban conectadas a una manguera de pecera cada uno las cuales estaban conectadas a envases de vidrios de 750 mL que contenían un concentrado de hidróxido de sodio el cual nos ayudaba a purificar nuestro Biogás y a la vez se conectó a través de otra manguera a cada uno de los frascos con su correspondiente bolsa acumuladora de biogás. Cada fase se realizó por triplicado.

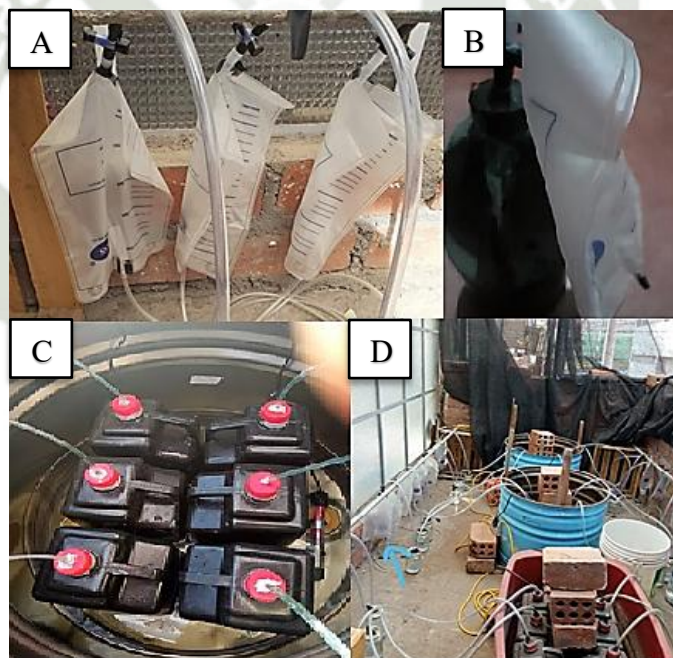


Figura 8. Elaboración y preparación de los sistemas

Fuente: elaboración propia

En la Figura 8, se observa en A) la preparación del sistema con las bolsas acumuladoras de gas; en B) el diseño del biodigestor conectado a la bolsa acumuladora de gas; en C) el sistema de los digestores ensamblados y en D) la puesta en marcha de todos los sistemas ensamblados.

El porcentaje de las concentraciones para preparar el sistema para esta primera fase de los 18 digestores correspondientes a estiércol bovino, ovino y combinado empleando pretratamientos, y realizado por triplicado, se observa en la Tabla 3.

Tabla 3. Experimentos realizados en primera fase

BOVINO			
	Estiércol	Rastrojo	Agua
E1-B	25%	25%	50%
E2-B	50%	25%	25%
OVINO			
	Estiércol	Rastrojo	Agua
E-O	25%	25%	50%
E2-O	50%	25%	25%
COMBINADO			
	Estiércol	Rastrojo	Agua
E1-C	25%	25%	50%
E2-C	50%	25%	25%

Fuente: elaboración propia

Según la Tabla 3, se observa el diseño experimental de la primera fase, cabe mencionar que se tomó en cuenta una duración aproximada de 1 mes y medio para cada fase.

2.3.2. Evaluación de la influencia del tratamiento con el producto EM-1 y Melaza en la generación de biogás

Para esta segunda fase posterior al tiempo cumplido de los 30 a 45 días en cada uno de los experimentos ya mencionados, se procedió a elegir al de mayor rendimiento mostrado en volumen en las probetas de cada materia prima, se eligió una muestra tanto para el estiércol bovino, ovino y bovino ovino, los cuales en esta segunda etapa fueron testeados con los productos EM-1 y Melaza para su evaluación en rendimiento, con el fin de observar los cambios en el tiempo de degradación de la materia prima como indica la bibliografía y de

esta manera realizar su posterior comparación, este segundo grupo se llevó a cabo por triplicado, teniendo un total de 18 muestras.

Para la preparación del producto de prueba EM-1 el cual según el Dr. Teruo Higa el creador del producto, acelera el proceso de putrefacción como también mejoraría el rendimiento y calidad de Biogás, por estar constituido por microorganismos eficaces los cuales ayudan y mejoran el proceso de fermentación. Para el uso del producto era necesaria una activación, para ello se necesitó un balde con 18 L de agua de acequia, el cual se dejó en el sol por un periodo de 3 horas para que el agua se vaya calentando y tenga una temperatura de 28 a 30 °C esto se llevó a cabo con la ayuda de un termómetro, para que la activación del producto sea más eficiente, cumpliendo con el tiempo indicado a la mezcla se le adicionó 1 litro de EM-1 previamente agitado de tal modo que se obtuvo la solución mixta de EM-1 De igual forma se hizo con la preparación de la melaza de caña de azúcar la cual también se dejó en sol para que se vuelva menos densa y se pueda disolver con facilidad, posteriormente se disolvió los 2 kilos de melaza de caña de azúcar en los 18 litros de agua de regadío limpia sin cloro, luego se movió con la ayuda de un palo con cuidado para que la melaza se homogenice con el agua., melaza y agua.

Se usó una cantidad de melaza de 20 mL que se empleó para los sistemas en los que únicamente se usó este producto y serán aplicadas al sistema con mejores resultados de las 18 muestras, al igual que con el producto EM-1.

Luego de finalizar el armado de los biodigestores y de haber activado los microorganismos presentes en el producto, se procedió a transportar a los biodigestores a su lugar de operación. Y se esperó un tiempo de 45 días de retención, en los que se mostró una cantidad significativa de biogás generado.

Las proporciones empleadas en esta fase según los resultados obtenidos con mejor rendimiento de la primera fase, son las siguientes:

Tabla 4. Experimentos a realizarse en segunda Fase.

II FASE				
BOVINO				
E1-B-M	Estiércol	Rastrojo	Agua	Melaza
	25%	25%	50%	20mL
E2-B-EM1	Estiércol	Rastrojo	Agua	EM-1
	50%	25%	25%	20mL
OVINO				
E1-O-M	Estiércol	Rastrojo	Agua	Melaza
	25%	25%	50%	20mL
E2-O-EM1	Estiércol	Rastrojo	Agua	EM-1
	50%	25%	25%	20mL
COMBINADO				
E1-C-M	Estiércol	Rastrojo	Agua	Melaza
	25%	25%	50%	20mL
E2-C-EM1	Estiércol	Rastrojo	Agua	EM-1
	50%	25%	25%	20mL

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 4, se observa el diseño experimental de la segunda fase a implementar en nuestra investigación.

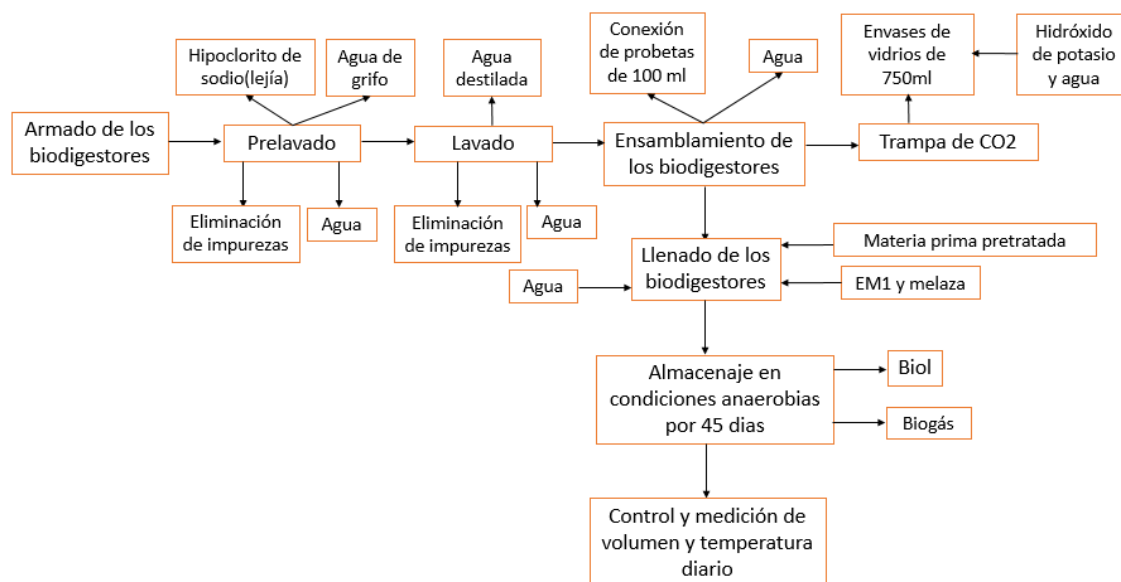


Figura 9. Diagrama de flujo de la influencia del tratamiento melaza vs EM-1 en la generación de biogás.

Fuente: elaboración propia

2.3.3. *Evaluar el PBM (Potencial Bioquímico de Metano) generado de la producción de biogás a nivel laboratorio*

Para la tercera fase se utilizaron los biodigestores con mayor rendimiento de biogás obtenidas mediante las mediciones en las probetas invertidas, en esta fase el PBM se determinó según la metodología de *Castillo D. & Tito C.*, (60) para el cual cada manguera en vez de estar conectado a una probeta estuvo conectado a un envase con hidróxido de sodio disuelto en agua, el cual según la metodología nos ayuda a purificar nuestro Biogás. Posteriormente para la última fase siguieron el mismo patrón de ensamblamiento de la primera fase con su correspondiente bolsa acumuladora de biogás.

Las proporciones empleadas en esta fase según los resultados obtenidos con mejor producción de biogás de la segunda fase, se observan en la Tabla 5.

Tabla 5. Diseño experimental tercera fase

III FASE				
DISEÑO EXPERIMENTAL				
BOVINO				
E1-B-M	Estiércol	Rastrojo	Agua	MELAZA
	25%	25%	50%	20mL
OVINO				
E1-O-M	Estiércol	Rastrojo	Agua	MELAZA
	25%	25%	50%	20mL
COMBINADO				
E1-C-M	Estiércol	Rastrojo	Agua	MELAZA
	25%	25%	50%	20mL

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 5, se observa la distribución usada de las materias primas y de melaza en esta fase.

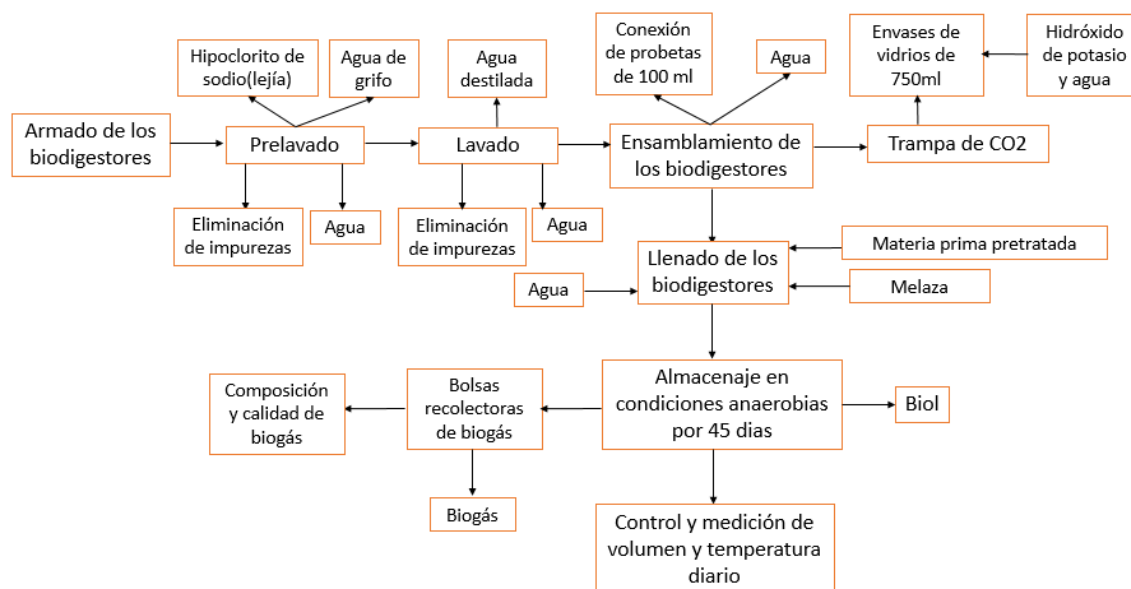


Figura 10. Diagrama de flujo del tratamiento con melaza para la evaluación de biogás

Fuente: elaboración propia

2.3.4. Analizar la composición química y comparación de la calidad de Biogás obtenido a nivel de laboratorio

La composición y calidad del gas generado fue evaluado mediante el uso de un equipo Biogás 5000 GEOTECH, en las instalaciones del pabellón F, de la Universidad Católica de Santa María.

2.3.5. Determinar la calidad del biol obtenido mediante ensayos de germinación.

Sé determinó la calidad de Biol obtenido mediante ensayos de germinación usando los biodigestores con mayor rendimiento de biogás en la fase 3, los cuales se repitieron para usarla en esta cuarta fase. Las muestras de Biol producido dentro de los biodigestores tanto de bovino, ovino y combinado, fueron enviadas al laboratorio Lavisier, donde se procedió a evaluar los siguientes parámetros: conductividad, concentración de carbono y nitrógeno. Así mismo también se enviaron las mismas muestras al laboratorio Biolabs para la determinación de microorganismos presentes en las muestras.

Para ello, se utilizaron semillas de lechuga (*Lactuca sativa*) que fueron plantadas en bandejas de semilleros con una división conformada por 10 filas y 20 columnas y se procedió a agregar las concentraciones del 5% y 10% biol y un testigo por el tiempo establecido (35 días). Para el preparado del biol dentro del biodigestor, se procedió a exprimirlo con ayuda de una gasa y posteriormente para su aplicación diaria fue guardada en el congelador, para la evaluación del % de germinación, tiempo y tamaño de elongación de cada una de las semillas de lechuga sembradas y así evaluar de esta manera la calidad del biol obtenido. Cabe mencionar que este método se realizó por triplicado y se procedió a medir las germinaciones de las semillas durante ese tiempo (ver Figura 11).



Figura 11. Germinación de Lechuga, prueba de biol.

Fuente: elaboración propia

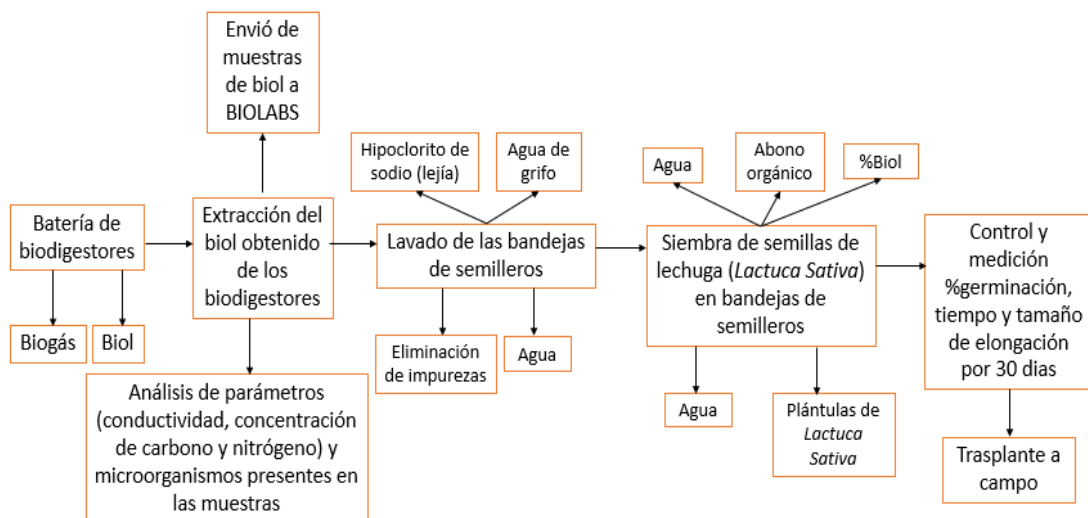


Figura 12. Diagrama de flujo de la determinación de la calidad del biol.

Fuente: elaboración propia

2.4. Diagrama de flujo de actividades

En la Figura 13, se observa el flujograma de actividades por fase del proyecto de tesis.

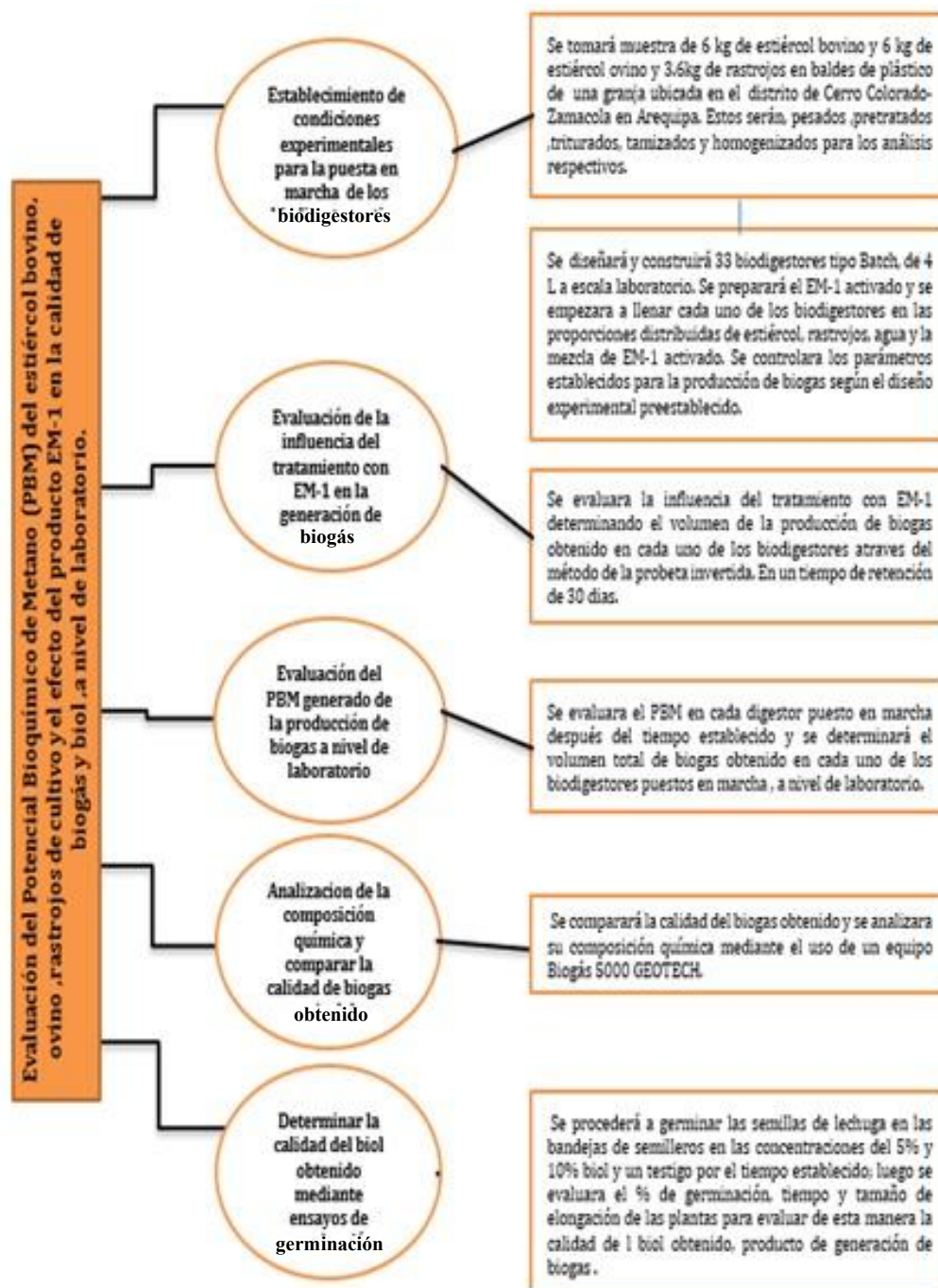


Figura 13. Flujograma de actividades del proyecto de tesis.

Fuente: elaboración propia

CAPÍTULO III: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo, se presentan e interpretan los resultados obtenidos de acuerdo al orden de los objetivos de la investigación planteados.

3.1. Establecimiento de condiciones experimentales para el avance de los biodigestores tipo Batch a nivel de laboratorio

3.1.1. Determinación de sólidos totales

En la Tabla 6, se presentan los análisis realizados en el laboratorio LABISERV del estiércol bovino, ovino, combinado y de los rastrojos de maíz, para la determinación de sólidos totales, relación carbono/ Nitrógeno, humedad, además del pH inicial de las muestras (ver Anexo 1).

Tabla 6. Determinación de sólidos totales y otras características de las muestras.

Materias Primas	Sólidos totales (%)	C/N (%)	Humedad (%)	pH inicial
Bovino	21.65	20.7	69.3	6.9
Ovino	28.5	25.2	66	7
Combinado	31.2	29.4	70	6.8
Rastrojos de maíz	20.0	20.2	75	5.5

Fuente: elaboración propia

Se comparó los resultados de la Tabla 6 con los valores óptimos de la relación C/N para la fermentación anaeróbica de residuos orgánicos, viendo así que todos nuestros resultados analizados están dentro del rango considerado como óptimo (20:1 a 30:1), según lo descrito por Verner et al. (27) En investigaciones como las de Amante et al. (28), se obtuvo una relación de 26:1 para el estiércol ovino, por su parte Belleza et al. (29), obtuvo una relación de 21:1, en tanto que Verner et al. (27), reportó una relación de 35:1 para el mismo, siendo estos considerados adecuados al igual que los nuestros. Por su parte la relación C/N de estiércol bovino y rastrojos, también concuerdan con los resultados obtenidos por Castro et al. (5), siendo estos de 20.6 % y 21.15% respectivamente.

Por otro lado tanto la humedad como los resultados obtenidos de sólidos totales y pH reportados antes de iniciar el montaje de los digestores son resultados similares a los reportados por Amante et al. (28), que al igual Vernerero et al. (27), reportan que el proceso de digestión anaerobia usando estas muestras como materia prima, se pueden llegar a obtener valores entre 55-68, 70.7, hasta 73.5 % en cuanto a la humedad, y que los rangos con pH desde 6.0-8.25 son los adecuados para una buena digestión anaeróbica, al igual que los resultados de sólidos totales que también son similares a los nuestros como lo muestran en sus investigaciones Amante et al. (28), Vernerero et al. (27), y Belleza et al (29).

3.1.2. Puesta en marcha de los biodigestores

Una vez establecido las condiciones experimentales a emplear para el avance de los biodigestores tipo batch a nivel de laboratorio; se llevó a cabo la evaluación de la primera fase conformada por 18 biodigestores los cuales consisten en D1, D2, D3 con concentraciones referenciadas al Experimento 1 y D4, D5, D6, con concentraciones referenciadas al Experimento 2, donde cada sistema fue evaluado por triplicado y se tomó la temperatura 3 veces al día.

Producción promedio de biogás de estiércol de ganado bovino y rastrojo

En la Tabla 7, se muestra detalladamente por día la producción promedio de biogás de estiércol de ganado bovino y rastrojo.

Tabla 7. Producción promedio de biogás de estiércol de ganado bovino.

N°	Volumen de biogás (ml)			Volumen de biogás (ml)		
	E1-B			E2-B		
	D1	D2	D3	D4	D5	D6
1	0.33	0	0	0.33	0	0
2	0.5	0.33	0	0.5	0.1	0.5
3	0.5	0.5	0.5	0.5	0.3	0.5
4	0.5	0.5	0.5	1.5	0.3	0.5
5	0.5	0.7	0.5	1.5	0.5	0.9
6	0.63	1.3	0.5	1.85	1.75	2.4
7	0.92	1.87	0.6	1.93	2.83	4.53

N°	Volumen de biogás (ml)			Volumen de biogás (ml)		
	E1-B			E2-B		
	D1	D2	D3	D4	D5	D6
8	1	2.57	1.17	2.17	3.77	6.37
9	1.5	2.97	1.73	2.33	4.63	6.67
10	1.5	3.47	2	3.07	5.17	6.73
11	1.5	6.77	2.47	3.17	5.5	7.33
12	2.5	6.9	2.75	3.3	5.82	8.03
13	2.9	6.9	3.5	3.4	6.9	9.4
14	3.4	7.2	3.5	4.87	9.5	9.6
15	3.7	8.43	3.87	5.33	11.67	11.6
16	5.03	8.68	4.25	5.48	14	12.5
17	5.77	8.87	4.35	5.67	15.67	13.03
18	5.83	9.23	5.4	6.65	16.67	13.9
19	6	11.37	6.8	7.67	17.67	14.65
20	6.53	12.43	7.53	9.03	18	14.82
21	7.05	12.45	8.2	10.8	18.83	15.37
22	8.35	13	8.47	11.59	20	16.2
23	12.67	13.07	9.47	12.9	23.5	16.77
24	13.5	13.8	9.8	13.55	25.33	17.5
25	14.03	15.53	10	15.02	27.5	17.5
26	14.57	16.43	10	15.9	27.6	17.5
27	14.7	16.83	10.1	17.7	28.3	17.53
28	14.7	17.17	10.37	18.45	29.87	17.63
29	14.73	17.77	10.57	21	31.37	18.05
30	14.75	19.57	10.88	22.17	33	18.67
31	15.08	21.17	10.95	23.43	37.2	19.5
32	15.57	22.2	11.1	23.97	41.03	19.83
33	15.87	23.9	11.23	24.8	43g	21.17
34	15.93	24.5	12.03	25.1	48.1	22.57

N°	Volumen de biogás (ml)			Volumen de biogás (ml)		
	E1-B			E2-B		
	D1	D2	D3	D4	D5	D6
35	16.1	25.37	12.98	26.63	53.03	22.77
36	17.1	27.07	13.82	29.3	58	23
37	18.17	28.8	13.9	32.78	61.33	23.17
38	18.17	28.8	13.9	32.78	61.33	23.17
39	18.5	32.87	15.27	36.33	66.17	26.43
40	18.5	34.05	15.82	38.7	68.73	28.5
41	18.83	36.9	16.65	40	73	28.6
42	19.27	42.97	20.53	40.67	76.33	29.63
43	19.45	43.53	25.6	43.83	78.17	33.1
44	19.63	44.33	30.5	45.47	78.83	36.17
45	19.93	44.83	33	46.5	79.33	38.93

*Los indicadores D1 hasta D6, significan las réplicas que se estudiaron.

Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 7, se evidenció la producción de biogás mediante el ensayo cualitativo de desplazamiento de volumen durante 45 días como indican otras investigaciones como las de Barrena et al. (30), durante todo el proceso se tomó la temperatura tres veces al día, obteniendo un promedio de $30.6 \pm 3^{\circ}\text{C}$ en nuestra investigación, temperatura que está dentro del indicado para producción biogás y que coincide con lo reportado por Castro et al. (5), en donde también se trabajó con esos rangos.

Los resultados muestran que el E1-B (concentraciones de 25% de estiércol, 25% de rastrojo y 50 % de agua), produjo un volumen acumulado final promedio de 97.77 ± 37.37 ml de producción de biogás para las tres réplicas y el sistema E2-B (concentraciones de 50% de estiércol, 25% de rastrojo y 25 % de agua), produjo 164.7 ± 64.43 ml de volumen acumulado final promedio de producción de biogás, mostrando así que el E2-B, tiene mayor volumen obtenido en 45 días a diferencia del E1-B.

Según la Figura 13, se deduce que el estiércol bovino durante primera fase alcanzó un volumen final promedio de biogás producido proporcional al periodo de tiempo en el biodigestor, donde se obtuvo para el E1-B un volumen de 32.59 ± 12.46 ml y para el E2-B un volumen de 54.92 ± 21.47 ml de biogás en un lapso de 45 días.



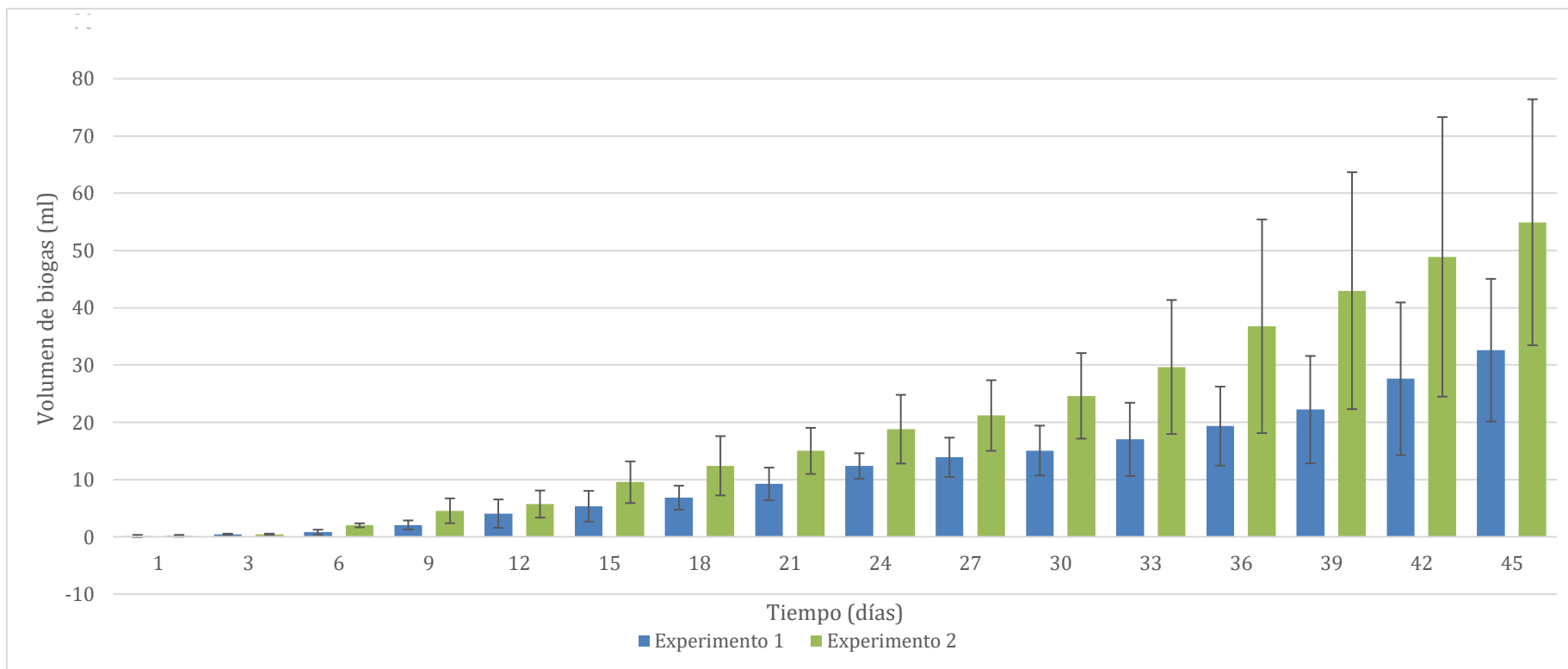


Figura 14. Producción promedio de biogás de estiércol de ganado bovino.

Fuente: elaboración propia

Determinación de la producción óptima de biogás de estiércol de ganado bovino en una primera fase

Los resultados estadístico con relación al biogás generado en E1-B, se pueden apreciar en la Tabla 8, en la cual se indica que la producción de biogás en el día 40, obtuvo una mayor producción de 27.79 ± 2.52 mL, por otra parte, en los días 10, 20 y 30 se obtuvieron menores porcentajes de producción de biogás de 2.13 ± 0.23 , 10.83 ± 1.47 mL y 11.56 ± 4.86 mL respectivamente, mientras, en el día 1 solamente se obtuvo 0.38 ± 0.03 mL, según estos análisis podemos determinar que las concentraciones en E1-B en el día 40 se obtendrá a diferencia del primer día, un valor alto de porcentaje de producción de biogás con 27.79 mL.

Tabla 8. Resultados estadísticos de la producción de biogás con estiércol bovino E1 – B en primera fase

Día	Recuento	Promedio \pm DE (ml)	Coefficiente de Variación (%)
1	3	0.32 ± 0.03^a	9.12
10	3	2.13 ± 0.23^a	10.83
20	3	10.83 ± 1.47^b	13.60
30	3	11.56 ± 4.86^b	17.48
40	3	27.79 ± 2.52^c	15.06

Prueba	Valor-p	Interpretación
SW	0.0968	DN
LEV	0.2200	NS
ANOVA	0.0000	S

*DE: desviación estándar. Fuente: elaboración propia.

Así mismo, los resultados de la prueba de Shapiro – Wilk (Tabla 9) obtuvieron un valor de $p \geq 0.05$ determinando que las concentraciones en E1-B presentaron datos con una distribución normal.

Tabla 9. Prueba de normalidad para producción óptima de biogás de estiércol de ganado bovino E1 -B

Prueba	Estadístico	Valor -p
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0.9002	0.0968

*El valor – p indica la significancia del estadístico de prueba.

Fuente: elaboración propia

Luego en la prueba de Levene (ver Tabla 10) se observó una igualdad de varianzas entre los tratamientos debido a que el valor p es ≥ 0.05 indicando que no existe una diferencia estadísticamente significativa.

Tabla 10. Prueba de varianza de Levene para producción óptima de biogás de estiércol de ganado bovino E1 -B

Prueba	Valor-p
Levene	0.2200

*El valor – p indica la significancia del estadístico de prueba. Fuente: elaboración propia

Finalmente, para evaluar la significancia de los datos, se llevó a cabo una prueba de ANOVA (ver Tabla 11) determinando que el valor de p es < 0.05 indicando existe una diferencia significativa entre las concentraciones, esto se traduce en que el tratamiento estudiado genera una variación en la producción de biogás.

Tabla 11. Análisis de varianza para la producción óptima de biogás de estiércol de bovino

E1 - B

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-p
Entre grupos	1517.95	4	379.488	58.97	0.0000
Intra grupos	64.3494	10	6.43494		
Total (Corr.)	1582.3	14			

*El valor – p indica la significancia del estadístico de prueba, el cual se considera más importante para tomar la decisión. *Fuente:* elaboración propia

Para la parte estadística en determinación promedio de biogás generado en E2-B (ver Tabla 12), se puede observar los resultados obtenidos al aplicar E2-B para producción de biogás con concentraciones de 50% de estiércol, 25% de rastrojo y 25 % de agua, determinando que en el día 40 se obtuvo la mayor producción de 61.97 ± 5.83 ml, por otra parte, al emplear los días 10, 20 y 30 se obtuvieron menores porcentajes de producción de biogás de 5.66 ± 0.93 , 14.95 ± 2.99 ml y 27.95 ± 5.45 ml respectivamente, mientras , en el día 1 solamente se obtuvo 0.32 ± 0.03 ml, según estos análisis podemos determinar que en el día 40 se obtendrá altos porcentajes de producción de biogás de 61.97 ml aplicando las concentraciones del E2-B.

Tabla 12. Producción de biogás de estiércol de ganado bovino del tratamiento E2 - B

Día	Unidades	Recuento	Promedio \pm DE	Coefficiente de Variación (%)
1	Ml	3	0.32 ± 0.03 ^a	9.12
10	Ml	3	5.66 ± 0.93 ^{ab}	16.47
20	Ml	3	14.95 ± 2.99 ^b	19.08
30	Ml	3	27.95 ± 5.45 ^c	19.51
40	Ml	3	61.97 ± 5.83 ^d	9.41

*DE: desviación estándar y M1, hace referencia a la muestra de estudio.

Fuente: elaboración propia

Al aplicar un análisis estadístico de la prueba de normalidad de Shapiro Wilk, se obtuvo un valor de $p < 0.05$ mostrando que la producción de biogás con el E2-B se presentaron datos con una ausencia de distribución normal como se observa en la Tabla 13.

Tabla 13. Prueba de normalidad para producción óptima de biogás de estiércol de ganado bovino E2 -B

Prueba	Estadístico	Valor-p
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0.8460	0.0148

Fuente: elaboración propia

Luego, en los resultados de la prueba de Levene para verificar supuesto de homogeneidad de varianzas (Tabla 14), se observó una igualdad de varianzas entre las concentraciones debido a que el valor p es ≥ 0.05 indicando que no existe una diferencia estadísticamente significativa.

Tabla 14. Verificación de varianza Levene para producción óptima de biogás de estiércol de ganado bovino con E2 - B

	Prueba	Valor-p
Levene	0.8300	0.5357

*El valor – p indica el nivel significancia del estadístico de prueba, el cual se toma en cuenta para tomar la decisión. *Fuente:* elaboración propia

Así mismo, para evaluar la diferencia de producción entre los días en el E2 se realizó la prueba de Kruskal Wallis (Tabla 15), reportando existe una diferencia estadísticamente significativa entre las concentraciones por presentar un valor de $p < 0.05$.

Tabla 15. Prueba de Kruskal-Wallis para producción óptima de biogás de estiércol de ganado bovino con E2 - B

Dosis	Unidades	Tamaño Muestra	Rango Promedio
1	Ml	3	2.0
10	Ml	3	5.00
20	Ml	3	8.0
30	Ml	3	11.00
40	Ml	3	14.00

Estadístico = 13.5 Valor-p = 0.00907

*DE: desviación estándar y M1, hace referencia a la muestra de estudio.

Fuente: elaboración propia

Finalmente, para evaluar la significancia de los datos se llevó a cabo una prueba de ANOVA (Tabla 16) determinando que el valor de p es < 0.05 indicando existe una diferencia significativa entre los digestores del E2-B. Lo que significa, que las dosis utilizadas generan un cambio significativo en la producción de biogás.

Tabla 16. Prueba ANOVA para la producción óptima de biogás de E2-B

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-p
Entre grupos	7254.66	4	1813.67	123.35	0.0000
Intra grupos	147.039	10	14.7039		
Total (Corr.)	7401.7	14			

*El valor – p indica el nivel significancia del estadístico de prueba, el cual se toma en cuenta para tomar la decisión. *Fuente:* elaboración propia

En la Figura 15, se muestra una comparación gráfica de la producción promedio de biogás entre los tratamientos E1 – B y E2 – B en función de los días.

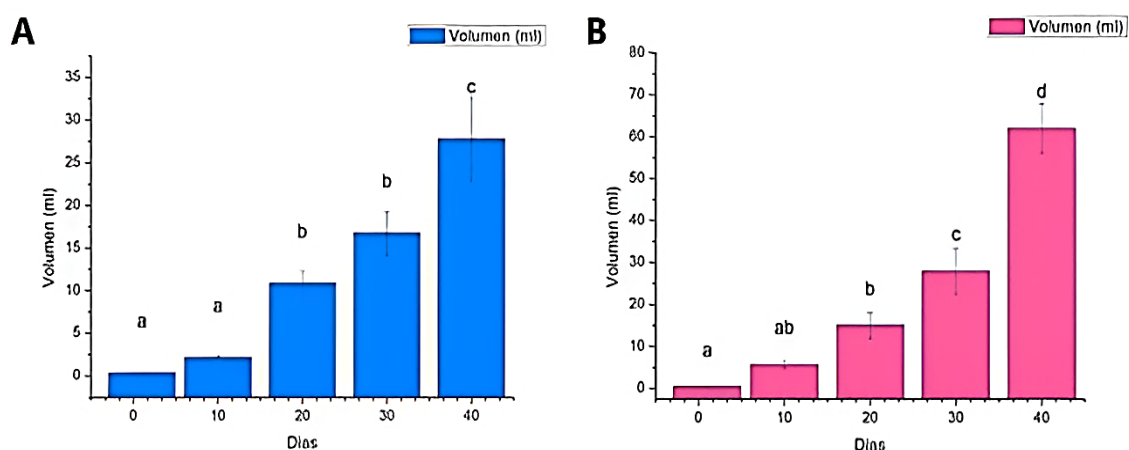


Figura 15. Producción promedio de biogás E1-B (A) y E2-B (B) en función a días transcurridos.

Fuente: elaboración propia

En la parte A de la gráfica, se puede observar que los tratamientos presentaron una diferencia significativa, así mismo, se puede determinar que, al emplear cualquiera de los días 10, 20 y 30 se tendrá menores porcentajes de producción, por lo que, podríamos optar por el día 40 por presentar mayor producción de biogás (mL), así mismo se da por entendido, tanto en la práctica como bibliográficamente, que con un mayor tiempo de retención habrá mayor producción de biogás.

En la parte B de la gráfica, se observa un comportamiento igual que para el tratamiento de la gráfica A (E1-B), sin embargo, la producción de biogás en volumen, es mayor para este tratamiento (E2 -B). Por tanto, se evidencia que al emplear la concentración E2-B se tendrá mayores % porcentajes de producción de biogás, entonces, podríamos optar por trabajar por la concentración de E2-B.

Producción de biogás en el día 45 para los tratamientos E1-B y E2-B

Para la determinación de la producción de biogás en el día 45, se realizaron análisis estadísticos (Tabla 17), en donde se puede observar los resultados obtenidos al emplear diferentes concentraciones de estiércol bovino para la producción de biogás determinando que en el día 45 al emplear la concentración E2-B se obtuvo el mayor % de producción de biogás de 48.24 ± 1.52 , mientras, que al trabajar con la concentración E1-B se obtuvo el menor % de producción de biogás de 29.59 ± 0.66 . Según estos análisis podemos determinar

que en el día 45 se obtendrá altos porcentajes de producción de biogás del 48%.

Tabla 17. Producción de biogás día 45 para E1 – B y E2 -B

Concentración	Recuento	Promedio \pm DE(%)	Coefficiente de Variación (%)
E1-B	3	29.59 \pm 0.66 ^a	2.22
E2-B	3	48.24 \pm 1.52 ^b	3.15

*DE: desviación estándar de las mediciones del recuento (réplicas).

Fuente: elaboración propia

Se realizó la prueba de comprobación de la normalidad Shapiro – Wilk (Tabla 18), donde se obtuvo el valor $p < 0.05$ indicando que existe una diferencia estadísticamente significativa, por tanto, los datos no tienen un comportamiento normal. Luego, se realizó el análisis de significancia mediante la prueba no paramétrica Kruskal – Wallis (Tabla 19).

Tabla 18. Prueba de Normalidad para la producción de biogás en el día 45 empleando concentraciones de estiércol bovino E1-B y E2-B

Prueba	Estadístico	Valor-p
Estadístico W de Shapiro- Wilk	0.7535	0.0220

*El valor – p indica el nivel de significancia con el cual se toma la decisión del análisis.

Fuente: elaboración propia

Tabla 19. Prueba de Kruskal - Wallis para la producción de biogás al día 45 empleando concentraciones de estiércol bovino E1-B y E2-B

Concentraciones	Tamaño Muestra	Rango Promedio
E1-B	3	2.0
E2-B	3	5.0
Estadístico = 3.86		Valor-p = 0.0495

*El valor – p indica el nivel de significancia con el cual se toma la decisión del análisis.

Fuente: elaboración propia

El análisis de varianzas de la Tabla 19, muestra un p – valor < 0.05, lo cual indica existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 5 variables con un nivel del 95.0% de confianza. Esto significa, que los diferentes tratamientos tienen un efecto significativo en el volumen de producción de biogás en ambos tratamientos.

Producción promedio de biogás de estiércol de ganado ovino y rastrojo

En la Tabla 20, se muestra detalladamente, por día la producción promedio de biogás de estiércol de ganado ovino y rastrojo.

Tabla 20. Producción promedio de biogás de estiércol de ganado ovino.

N	Volumen de biogás, mL			Volumen de biogás, mL		
	E1-O			E2-O		
	D1	D2	D3	D1	D2	D3
1	0	0	0	0	0	0
2	0.5	0	0.5	0	0	0
3	0.5	0	1.33	0	0.5	0.33
4	0.5	0.26	2	0.33	0.6	0.5
5	0.5	0.5	3.5	2.16	1.13	0.5
6	0.66	0.5	3.6	2.58	1.5	1.4
7	1.1	0.93	4.6	3.36	3.76	1.9
8	1.43	1	5	3.45	4.46	2.63
9	1.66	1.5	5	5.79	5.33	2.95
10	2	2.36	5.3	6.38	6.4	3.21
11	2.5	3.1	5.7	6.5	8.66	4.61
12	2.83	3.5	6	6.58	9	5.63
13	3.1	3.5	6.3	7.2	9.13	5.86
14	3.73	3.63	7.1	8.9	10.81	6
15	4.03	3.76	7.4	9.66	13.23	7.8

	Volumen de biogás, mL			Volumen de biogás, mL		
16	5.83	3.86	7.8	10.5	13.46	9.4
17	6.5	4.1	8.2	10.7	14.9	9.63
18	7.7	5.46	8.2	10.83	15.11	10.33
19	8.78	6.93	9.2	10.9	15.48	10.46
20	10.48	7.21	9.76	10.9	15.63	12.63
21	11.4	7.26	10.16	11.5	17.73	12.66
22	12.98	10.03	11.36	11.6	18.63	14.36
23	14.46	10.76	11.5	12.16	20.13	15.23
24	15.56	12.25	13.13	12.4	21.5	16.43
25	15.96	13.8	13.3	12.56	23.36	17.58
26	16.63	15	14.4	13.06	26.48	19.5
27	18	15.84	15.11	14.26	27.98	20.58
28	18.33	16.5	15.18	14.35	29	22.33
29	19.35	16.93	15.7	14.35	30.43	22.8
30	21.01	18.15	16.5	14.4	32.3	24.1
31	22.6	19.5	17.38	14.5	33.18	25.15
32	24.33	21	19.21	15.4	33.96	28.2
33	27.2	28.46	20.02	16.36	36.16	29.9
34	27.8	30.5	21.86	17.95	39	35.4
35	27.9	31.26	23.01	18.78	41.96	39.7
36	28.73	32.8	26.6	19.5	47.63	40.55
37	30.33	33.1	30.66	19.6	50.9	41
38	30.85	33.5	35	21.16	51.1	41.78
39	32	34.16	37	22.48	52	44
40	35.16	34.63	39.1	24.21	52.33	46.5
41	36.16	35.33	40.86	24.66	52.6	48.56
42	37	35.9	41.7	26.73	52.88	50.26
43	37.53	35.9	43	28.45	53.3	52.8

	Volumen de biogás, mL			Volumen de biogás, mL		
44	39.5	37.26	43.33	29.93	53.83	53.66
45	40	38.5	45	30	54	55

*Los indicadores D1 hasta D6, hacen referencia a las réplicas estudiadas. *Fuente:*
elaboración propia

En la Tabla 20, se muestran los resultados promedios obtenidos de cada una de las pruebas realizadas con estiércol ovino, con un tiempo de retención de 45 días como indican otras investigaciones como las de Barrena et al. (30) y cabe recalcar que en todo el proceso se tomó la temperatura tres veces al día y se obtuvo un promedio de $30.6 \pm 3^\circ\text{C}$ tal como lo muestra en su investigación Castro et al (5).

En el E1-O (concentraciones de 25% de estiércol, 25% de rastrojo y 50 % de agua) se produjo un volumen acumulado final promedio de 123.5 ± 10.21 mL de producción de biogás para las tres réplicas, y por otro lado el E2-O (concentraciones de 50% de estiércol, 25% de rastrojo y 25 % de agua), produjo 138.83 ± 42.33 mL de volumen acumulado final promedio, con un mayor rendimiento de biogás producido.

Según la Figura 16, se deduce que el estiércol ovino en E1-O y E2-O, alcanzó un volumen final promedio de biogás producido proporcional al periodo de tiempo en el biodigestor, donde se obtuvo que E1-O (concentraciones de 25% de estiércol, 25% de rastrojo y 50 % de agua), un volumen de 41.17 ± 3.40 mL y para el E2-O (concentraciones de 50% de estiércol, 25% de rastrojo y 25 % de agua), un volumen de 46.28 ± 14.11 ml de biogás en un lapso de 45 días.

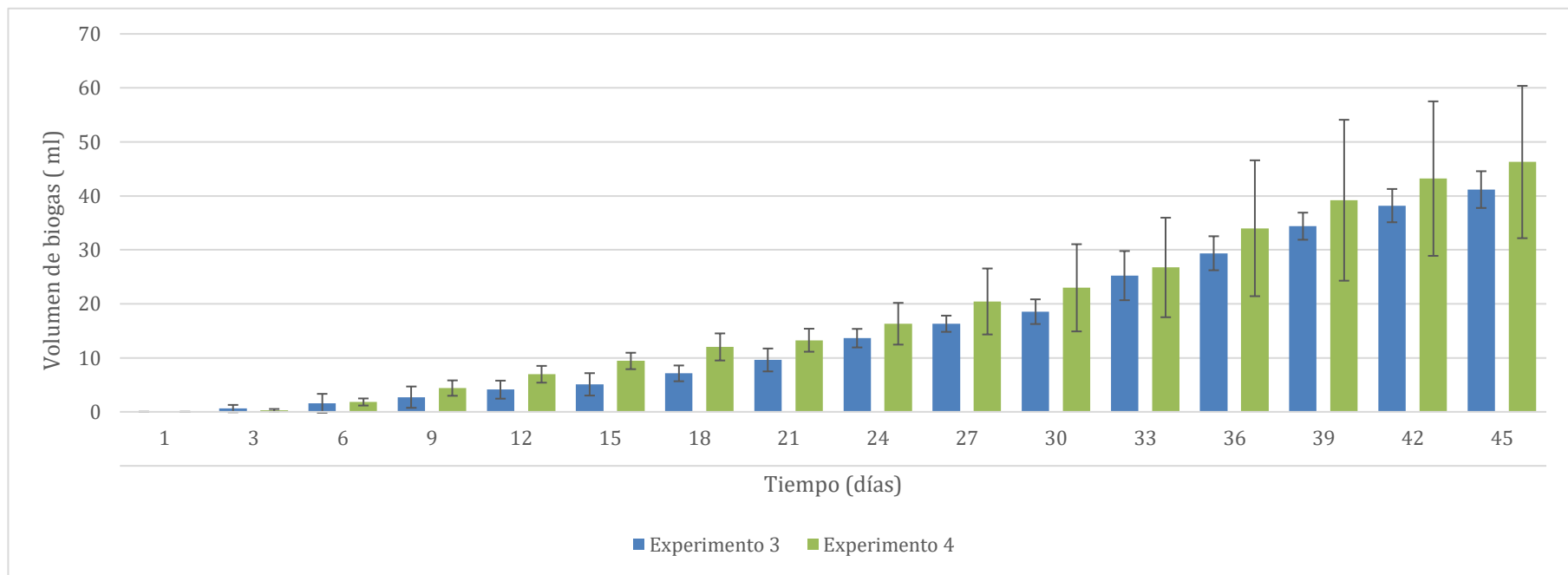


Figura 16. Producción promedio de biogás de estiércol de ganado ovino.

Fuente: elaboración propia

Determinación de la producción óptima de biogás de estiércol de ganado ovino en una primera fase

Para la determinación estadística para la producción óptima de biogás, en la Tabla 21 se puede observar los resultados obtenidos al aplicar E1-O para producción de biogás determinando que en el día 40 se obtuvo la mayor producción de 30.79 ± 2.90 mL, por otra parte, al emplear los días 10,20 y 30 se obtuvieron menores porcentajes de producción de biogás de 4.60 ± 0.92 , 9.16 ± 1.48 y 15.07 ± 2.36 mL respectivamente, mientras, en el día 1 solamente se obtuvo 0.35 ± 0.05 mL, según estos análisis podemos determinar que en el día 40 se obtendrá altos porcentajes de producción de biogás de 30.79 mL.

Tabla 21. Producción de biogás con estiércol ovino en E1 – O en primera fase

Día	Unidades	Recuento	Promedio \pm DE (ml)	Coefficiente de Variación (%)
1	MI	3	0.35 ± 0.05 ^a	14.29
10	MI	3	4.60 ± 0.92 ^{ab}	20.08
20	MI	3	9.16 ± 1.48 ^b	16.20
30	MI	3	15.07 ± 2.36 ^c	15.67
40	MI	3	30.79 ± 2.90 ^d	9.41

*DE: desviación estándar. *Fuente:* elaboración propia

Al aplicar un análisis estadístico, se realizó la prueba de Shapiro Wilk (Tabla 22) donde se obtuvo un valor de p es ≥ 0.05 , determinando que los valores en el E1 los digestores presentaron datos con una distribución normal. Lo cual significa que es posible la aplicación de pruebas paramétricas para medir efecto significativo en la variable de respuesta.

Tabla 22. Prueba de normalidad para la producción de biogás con estiércol de ganado ovino en E1 – O

Prueba	Estadístico	Valor-p
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0.8822	0.0517

*El valor – p indica el nivel de significancia con el cual se toma la decisión del análisis.

Fuente: elaboración propia

Luego, en la prueba de Levene (Tabla 23) se observó una igualdad de varianzas entre estos debido a que el valor p es ≥ 0.05 indicando que no existe una diferencia estadísticamente significativa, por lo cual, se optó por aplica la prueba paramétrica ANOVA, cuyos resultados se reportan en la Tabla 24.

Tabla 23. Prueba de verificación de homogeneidad de varianzas de Levene para la producción de biogás con E1 – O

	Prueba	Valor-p
Levene	0.9785	0.4615

Fuente: elaboración propia

Tabla 24. Prueba ANOVA para la producción de biogás con E1 – O

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-p
Entre grupos	1683.14	4	420.785	123.48	0.0000
Intra grupos	34.0772	10	3.40772		
Total (Corr.)	1717.22	14			

*El valor – p indica el nivel de significancia con el cual se toma la decisión del análisis.

Fuente: elaboración propia

Los resultados de la Tabla 24, muestra un p – valor < 0.05 , lo cual indica existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 5 variables con un nivel del 95.0% de

confianza. Esto significa que, la variable de respuesta (producción de biogás en ml) cambia significativamente con los diferentes tratamientos de estiércol ovino.

En cuanto al siguiente tratamiento E2 – O, en la Tabla 25, se puede observar los resultados obtenidos al aplicar E2-O para producción de biogás determinando que en el día 40 se obtuvo la mayor producción biogás con 47.57 ± 4.00 ml, por otra parte, al emplear los días 10, 20 y 30 se obtuvieron menores porcentajes de producción de biogás de 7.33 ± 3.69 , 13.00 ± 2.31 y 28.87 ± 1.51 mL respectivamente, mientras, en el día 1 solamente se obtuvo 0.93 ± 0.12 mL, según estos análisis podemos determinar que en estas concentraciones en E2 en el día 40 se obtendrá altos porcentajes de producción de biogás de 47.57 mL.

Tabla 25. Producción de biogás con estiércol ovino en E2 – O en primera fase

Dosis	Unidades	Recuento	Promedio \pm DE (ml)	Coefficiente de Variación (%)
1	MI	3	0.93 ± 0.12 ^a	12.37
10	MI	3	7.33 ± 3.69 ^{ab}	50.31
20	MI	3	13.00 ± 2.31 ^b	17.79
30	MI	3	28.87 ± 1.51 ^c	5.25
40	MI	3	47.57 ± 4.00 ^d	8.42

*DE: desviación estándar. *Fuente:* elaboración propia

Al aplicar un análisis estadístico, primero se realizó la prueba de Levene (Tabla 26), cuyos resultados mostraron una igualdad de varianzas entre las medias de la variable, debido a que el valor p es ≥ 0.05 indicando que no existe una diferencia estadísticamente significativa, por lo cual, se optó por realizar el estadístico de comparación de medias múltiples paramétrico ANOVA (Tabla 27).

Tabla 26. Prueba de Levene para producción de biogás con estiércol ovino en E2 – O en primera fase

	Prueba	Valor-p
Levene	0.9581	0.4710

Fuente: elaboración propia

Tabla 27. Prueba ANOVA para la producción de biogás con E2 – O

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-p
Entre grupos	4332.25	4	1058.06	141.85	0.0000
Intra grupos	74.5877	10	7.4587		
Total (Corr.)	4306.84	14			

*El valor – p indica el nivel de significancia con el cual se toma la decisión del análisis.

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 27, se observa que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05 reportando existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 5 variables con un nivel del 95.0% de confianza.

En la Figura 17, podemos observar del lado A de a gráfica que, los tratamientos presentaron una diferencia significativa, así mismo, se puede determinar que, al emplear cualquiera de los días 10, 20 y 30 se tendrá menores porcentajes de producción, por lo que, podríamos optar por el día 40 por presentar mayor producción de biogás (mL). En tanto que, en el lado B de la gráfica, podemos observar que los tratamientos presentaron una diferencia significativa, así mismo, se puede determinar que, al emplear cualquiera de los días 10,20 y 30 se tendrá menores porcentajes de producción, por lo que, podríamos optar por el día 40 por presentar mayor producción de biogás (mL).

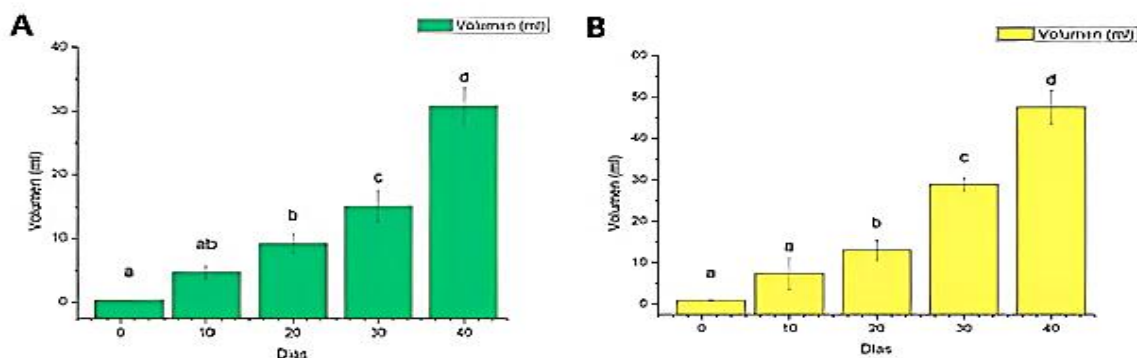


Figura 17. Producción de biogás en E1-O (A) y E1-O (B) en función a diferentes días.

Fuente: elaboración propia

Estos resultados son comparables con los obtenidos por Duran et al. (31), donde el pico máximo en el proceso de digestión dentro del biodigestor ovino fue en la octava semana y su producción baja fue durante las tres primeras semanas, teniendo como referencia esta investigación, y trabajando con datos similares, se puede determinar que al igual que el estudio citado, el pico máximo para la generación de biogás va a depender no solo la temperatura, sino también del tiempo de retención, ya que este sustrato ha mostrado buenos resultados bibliográficos siempre y cuando cumplan estas condiciones. En nuestra investigación nuestro máximo volumen se obtuvo a los 40 días siendo en la sexta semanas el pico más alto.

Producción de biogás en el día 45 para los tratamientos E1-O y E2-O

Para la determinación de la producción de biogás en el día 45, se realizaron análisis estadísticos (Tabla 28) en donde se puede observar los resultados obtenidos al emplear diferentes concentraciones de estiércol ovino para la producción de biogás determinando que en el día 45 al emplear la concentración E2-O se obtuvo el mayor % de producción de biogás de 44.1 ± 0.46 , mientras, que al trabajar con la concentración E1-O se obtuvo el menor % de producción de biogás de 40.27 ± 0.93 . Según estos análisis podemos determinar que en el día 45 se obtendrá altos porcentajes de producción de biogás del 44%.

Tabla 28. Producción de biogás en el día 45 empleando concentraciones de ovino E1- O y E2-O

Concentración	Recuento	Promedio \pm DE(%)	Coefficiente de Variación (%)
E1-O	3	40.27 \pm 0.93 ^a	2.30
E2-O	3	44.1 \pm 0.46 ^b	1.04

*DE es la desviación estándar de las muestras (recuento).

Fuente: elaboración propia

Al aplicar un análisis estadístico, en la prueba de Levene (Tabla 29), se observó una igualdad de varianzas entre los tratamientos debido a que el valor $p \geq 0.05$ indicando que no existe una diferencia estadísticamente significativa. Por lo cual, se realizó el análisis de medias múltiples con ANOVA, cuyos resultados se reportan en la Tabla 30.

Tabla 29. Estadístico de Levene Levene para la producción de biogás en el día 45 empleando concentraciones de estiércol ovino E1-O y E2-O

	Prueba	Valor-p
Levene	0.5192	0.5110

*El valor – p indica el nivel de significancia con el cual se toma la decisión del análisis.

Fuente: elaboración propia

Tabla 30. ANOVA para la producción de biogás al día 45 empleando concentraciones de estiércol ovino E1-O y E2-O

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-p
Entre grupos	22.0417	1	22.0417	41.07	0.0030
Intra grupos	2.14667	4	0.5367		
Total (Corr.)	24.1883	5			

*El valor – p indica el nivel de significancia con el cual se toma la decisión del análisis.

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 30, debido a que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, determinando existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 5 variables con un nivel del 95.0% de confianza.

Así mismo, se pudo observar gráficamente (Anexo 3) que los tratamientos presentaron una diferencia significativa, por lo que podemos trabajar con cualquiera de las concentraciones, así mismo se puede evidenciar que al emplear la concentración E2-O se tendrá mayores % porcentajes de producción de biogás, entonces, podríamos optar por trabajar con la concentración de E2-O.

Producción promedio de biogás de estiércol de ganado combinado y rastrojo

En la Tabla 31, se muestra detalladamente por día la producción promedio de biogás de estiércol combinado (ganado bovino y ovino) y rastrojo.

Tabla 31. Producción promedio de biogás de estiércol de ganado combinado.

	Volumen de biogás, MI			Volumen de biogás, MI		
	E1-C			E2-C		
	D1	D2	D3	D1	D2	D3
1	0.00	0.16	0.00	1.00	0.17	0.00
2	0.33	0.83	0.50	3.16	0.50	0.50
3	0.50	1.50	0.50	4.00	1.33	1.13
4	1.33	1.97	0.50	4.33	2.50	2.97
5	1.58	2.97	1.17	5.00	2.50	4.43
6	1.82	5.57	1.77	5.83	2.80	7.23
7	2.07	7.30	1.90	6.37	3.50	10.10
8	3.40	8.50	2.50	7.50	4.00	12.50
9	4.80	9.40	2.50	8.50	4.30	15.60

10	5.70	9.80	3.50	9.40	5.00	16.00
11	5.78	10.90	3.93	11.20	6.33	18.90
12	6.17	11.72	5.07	12.50	7.80	21.13
13	7.07	14.33	6.07	13.25	9.97	24.10
14	7.63	15.43	6.73	15.70	10.93	27.23
15	7.67	15.88	7.37	16.57	12.10	29.87
16	9.50	17.37	8.33	17.50	13.80	31.02
17	11.83	19.70	9.67	18.17	16.40	32.77
18	15.00	20.60	11.00	19.77	18.47	33.72
19	16.70	21.25	13.25	20.73	19.67	35.40
20	17.40	23.20	14.83	21.53	21.40	37.83
21	18.73	25.43	16.53	23.13	22.63	38.93
22	21.33	28.40	17.83	23.77	24.57	40.83
23	21.97	31.33	18.97	24.67	26.00	43.40
24	23.53	34.32	20.90	25.97	26.53	46.17
25	25.23	35.28	22.67	27.83	27.40	49.00
26	26.90	36.57	24.00	30.10	27.83	50.83
27	29.53	43.47	26.00	33.77	28.43	52.93
28	31.97	53.13	28.40	36.10	29.67	53.85
29	34.85	56.10	38.43	37.40	30.57	55.47
30	38.73	58.10	51.17	38.58	31.50	57.67
31	42.06	59.13	53.83	42.12	33.20	59.80

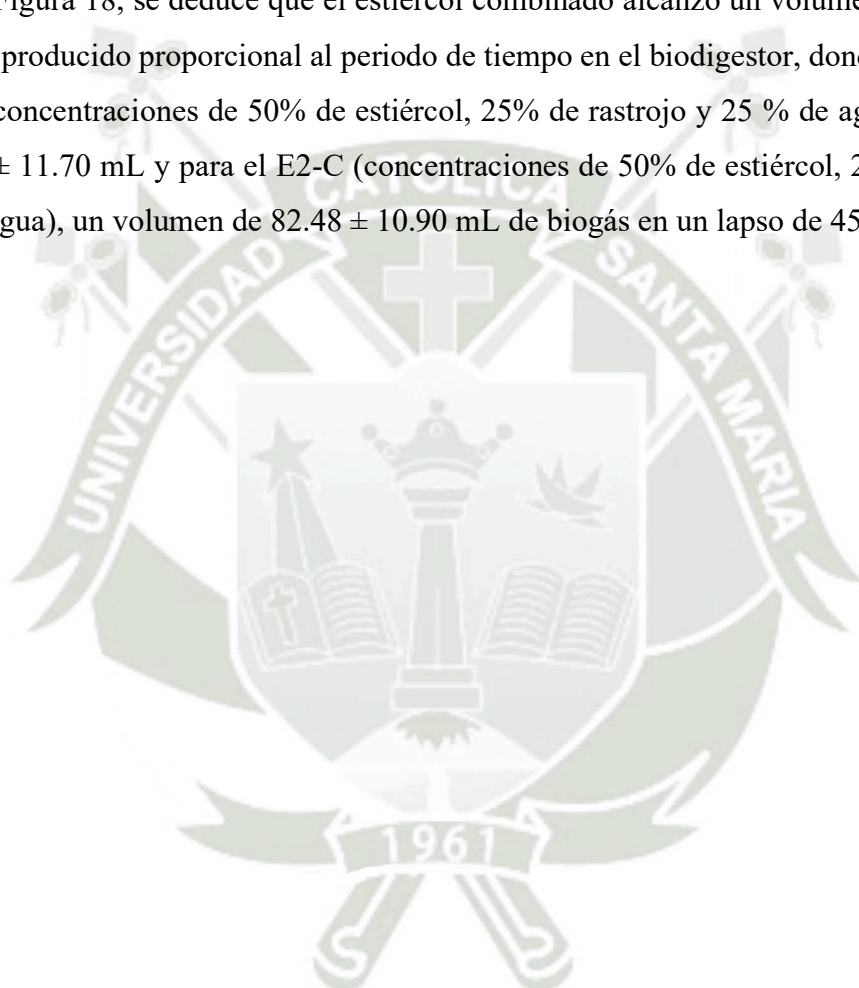
32	44.13	61.87	56.33	48.48	33.95	61.43
33	52.93	62.87	58.53	50.93	35.53	61.72
34	56.00	64.77	66.23	58.63	36.83	62.68
35	57.65	65.43	69.82	67.35	37.00	64.08
36	57.93	66.17	71.03	72.70	37.47	65.87
37	58.03	68.82	71.90	77.00	38.57	68.28
38	58.13	70.53	72.13	78.67	43.70	69.35
39	58.33	73.20	74.00	81.07	47.60	71.40
40	58.43	74.58	75.23	83.83	50.13	73.73
41	58.65	75.42	76.50	87.30	53.97	74.93
42	58.73	77.17	77.07	91.33	58.50	75.47
43	58.77	78.00	77.70	92.33	62.87	76.53
44	59.50	79.03	78.90	93.80	68.50	77.30
45	59.73	80.10	79.90	94.67	73.67	79.10

Fuente: elaboración propia

La tabla 31, muestra los resultados promedios obtenidos de cada una de las pruebas realizadas con la combinación de estiércol bovino y ovino, en la cual durante todo el proceso se tomó la temperatura tres veces al día tal como lo muestra Castro et al. (5), obteniendo un promedio de $30.6 \pm 3^{\circ}\text{C}$. Al igual que Bedoya et al (58), se trató de trabajar a una temperatura teniendo como valor mínimo los 28°C a diferencia de lo reportado por Monteros et al. (32), quienes en su investigación trabajaron con temperaturas entre 35 y 40°C . No obstante, según bibliografía mencionada anteriormente nuestro rango y promedios utilizados también son un buen valor para producción de biogás.

Los resultados muestran que el E1-C (concentraciones de 25% de estiércol, 25% de rastrojo y 50 % de agua), produjo un volumen acumulado final promedio de 219.43 ± 35.10 ml de producción de biogás para cada una de las réplicas y el E2-C (concentraciones de 50% de estiércol, 25% de rastrojo y 25 % de agua), produjo 247.43 ± 32.70 mL de volumen acumulado final promedio de producción de biogás. Siendo el sistema E2-C (concentraciones de 50% de estiércol, 25% de rastrojo y 25 % de agua), el volumen más alto de producción de biogás.

Según la Figura 18, se deduce que el estiércol combinado alcanzó un volumen final promedio de biogás producido proporcional al periodo de tiempo en el biodigestor, donde se obtuvo para el E1-C (concentraciones de 50% de estiércol, 25% de rastrojo y 25 % de agua), un volumen de 73.24 ± 11.70 mL y para el E2-C (concentraciones de 50% de estiércol, 25% de rastrojo y 25 % de agua), un volumen de 82.48 ± 10.90 mL de biogás en un lapso de 45 días.



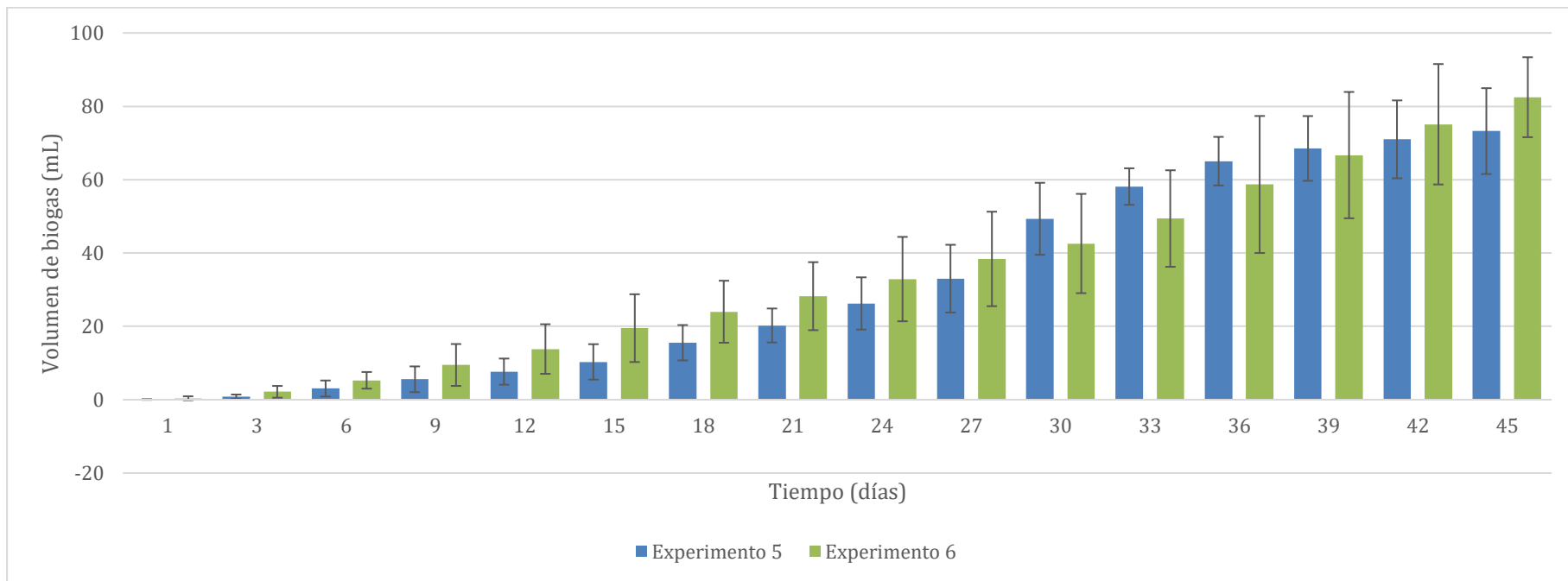


Figura 18. Producción promedio de biogás de estiércol de ganado combinado de ovino y bovino.

Fuente: elaboración propia

Determinación de la producción óptima de biogás de estiércol de ganado Combinado en una primera fase

Para la determinación estadística para la producción óptima de biogás (Tabla 32), se puede observar los resultados obtenidos al aplicar las concentraciones del E1-C para producción de biogás determinando que en el día 40 se obtuvo una producción de 69.41 ± 9.52 ml, por otra parte, al emplear los días 10, 20 y 30 se obtuvieron menores porcentajes de producción de biogás de 8.67 ± 1.71 , 20.14 ± 2.91 y 49.33 ± 9.81 mL respectivamente, mientras, en el día 1 solamente se obtuvo 1.40 ± 0.17 mL, según estos análisis podemos determinar que en esta concentración en el día 40 se obtendrá altos porcentajes de producción de biogás de 69.41 mL.

Tabla 32. Producción promedio de biogás de estiércol de ganado combinado en E1 – C en una primera fase.

Día	Unidades	Recuento	Promedio \pm DE (ml)	Coefficiente de Variación (%)
1	MI	3	1.40 ± 0.17^a	12.81
10	MI	3	8.67 ± 1.71^a	19.73
20	MI	3	20.14 ± 2.91^b	14.46
30	MI	3	49.33 ± 9.81^c	19.89
40	MI	3	69.41 ± 9.52^d	13.71

*DE es la desviación estándar de las mediciones (recuento).

Fuente: elaboración propia

Al aplicar un análisis estadístico, la prueba de Levene (Tabla 33) se observó una igualdad de varianzas entre los mismos debido a que el valor p es ≥ 0.05 indicando que no existe una diferencia estadísticamente significativa, finalmente, para evaluar la significancia de los datos se llevó a cabo una prueba de ANOVA (Tabla 34).

Tabla 33. Verificación de varianza Levene para producción óptima de biogás de estiércol de ganado combinado

	Prueba	Valor-p
Levene	0.9415	0.4790

*El valor – p indica el nivel de significancia con el cual se toma la decisión del análisis.

Fuente: elaboración propia

Tabla 34. Análisis de varianza para la producción óptima de biogás de estiércol de ganado combinado

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-p
Entre grupos	9892.16	4	2473.04	62.34	0.0000
Intra grupos	396.698	10	39.6698		
Total (Corr.)	10288.9	14			

*El valor – p indica el nivel de significancia con el cual se toma la decisión del análisis.

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 34, se observa que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05 reportando existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 5 variables con un nivel del 95.0% de confianza.

En el caso del tratamiento E2 – C, los resultados de la Tabla 35, muestran que al aplicar las concentraciones del E2-C para producción de biogás, al día 40 se obtuvo la mayor producción con 75.90 ± 7.10 mL, por otra parte, al emplear los días 10, 20 y 30 se obtuvieron menores porcentajes de producción de biogás de 14.13 ± 2.42 , 34.92 ± 2.95 y 46.18 ± 9.46 mL respectivamente, mientras ,en el día 1 solamente se obtuvo 0.96 ± 0.05 mL, según estos análisis podemos determinar que con esta concentración en el día 40 se obtendrá altos porcentajes de producción de biogás de 75.90 mL.

Tabla 35. Producción promedio de biogás de estiércol de ganado combinado en una primera fase.

Día	Unidades	Recuento	Promedio ± DE (ml)	Coefficiente de Variación (%)
1	MI	3	0.96 ± 0.05 ^a	5.36
10	MI	3	14.13 ± 2.42 ^a	17.12
20	MI	3	34.92 ± 2.95 ^b	8.45
30	MI	3	46.18 ± 9.46 ^c	20.48
40	MI	3	75.90 ± 7.10 ^d	9.36

*DE es la desviación estándar de las mediciones (recuento).

Fuente: elaboración propia

Al aplicar un análisis estadístico, la prueba de Levene (Tabla 36) se observó una igualdad de varianzas entre los mismos debido a que el valor p es ≥ 0.05 indicando que no existe una diferencia estadísticamente significativa, finalmente, para evaluar la significancia de los datos se llevó a cabo una prueba de ANOVA (Tabla 37).

Tabla 36. Verificación de varianza Levene para producción óptima de biogás de estiércol de ganado combinado

	Prueba	Valor-p
Levene	1.4545	0.2867

*El valor – p indica el nivel de significancia con el cual se toma la decisión del análisis.

Fuente: elaboración propia

Tabla 37. Análisis de varianza para la producción óptima de biogás de estiércol de ganado combinado

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadra do Medio	Razón-F	Valor-p
Entre grupos	5072.61	4	1268.15	82.30	0.0000
Intra grupos	388.376	10	38.376		
Total (Corr.)	5460.98	14			

*El valor $-p$ indica el nivel de significancia con el cual se toma la decisión del análisis.

Fuente: elaboración propia

Los resultados de la Tabla 37, muestran que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05 reportando existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 5 variables con un nivel del 95.0% de confianza.

En la Figura 19, del lado A del gráfico podemos observar que los tratamientos presentaron una diferencia significativa, así mismo, se puede determinar que, al emplear cualquiera de los días 10,20 y 30 se tendrá menores porcentajes de producción, por lo que, podríamos optar por el día 40 por presentar mayor producción de biogás (mL).

Mientras que, del lado B del gráfico, podemos observar que los tratamientos presentaron una diferencia significativa, así mismo, se puede determinar que, al emplear cualquiera de los días 10,20 y 30 se tendrá menores porcentajes de producción, por lo que, podríamos optar por el día 40 por presentar mayor producción de biogás (mL).

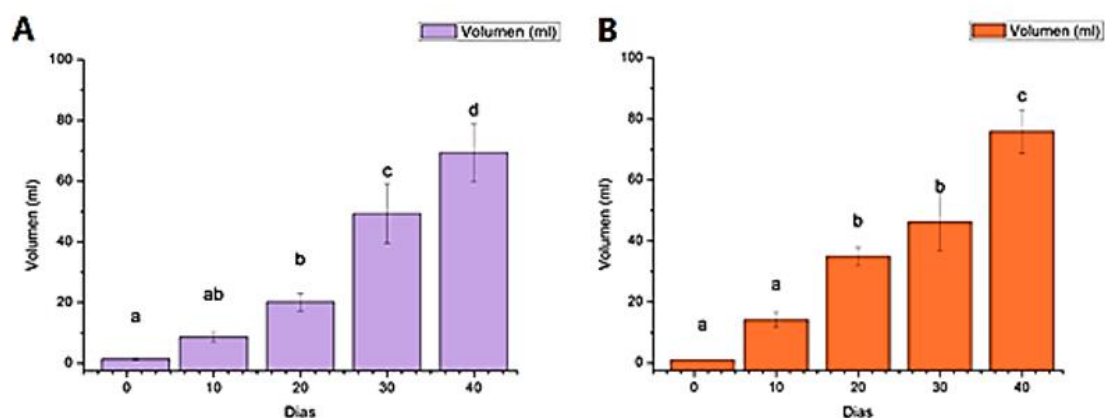


Figura 19. Producción promedio de biogás en E1-C (A) y E2-C (B) en función a días transcurridos.

Fuente: elaboración propia

Determinación de la producción de biogás en el día 45, E1-C vs E2-C

Para la determinación de la producción de biogás en el día 45, se realizaron análisis estadísticos (Tabla 38), se puede observar los resultados obtenidos al emplear diferentes concentraciones de estiércol Combinado para la producción de biogás determinando que en

el día 45 al emplear la concentración E2-C se obtuvo el mayor % de producción de biogás de 79.58 ± 0.74 , mientras, que al trabajar con la concentración E1-C se obtuvo el menor % de producción de biogás de 73.48 ± 1.29 . Según estos análisis podemos determinar que en el día 45 se obtendrá altos porcentajes de producción de biogás del 79.5 %.

Tabla 38. Producción de biogás en el día 45 empleando concentraciones de estiércol combinado E1-C y E2-C

Concentración	Recuento	Promedio \pm DE (%)	Coefficiente de Variación (%)
E1-C	3	73.48 ± 1.29^a	1.76
E2-C	3	79.58 ± 0.74^b	4.64

*DE es la desviación estándar de las mediciones (recuento).

Fuente: elaboración propia

En la prueba de Levene de la Tabla 39, se observó una igualdad de varianzas entre los tratamientos debido a que el valor p es ≥ 0.05 indicando que no existe una diferencia estadísticamente significativa. Finalmente, para evaluar la significancia de los datos se llevó a cabo una prueba de ANOVA como se muestra en la Tabla 40.

Tabla 39. Verificación de varianza Levene para la producción de biogás en el día 45 empleando concentraciones de estiércol combinado E1-C y E2-C

	Prueba	Valor-p
Levene	0.4691	0.5310

*El valor – p indica el nivel de significancia con el cual se toma la decisión del análisis.

Fuente: elaboración propia

Tabla 40. Análisis de varianza para la producción de biogás al día 45 empleando concentraciones de estiércol combinado E1-C y E2-C

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-p
Entre grupos	55.754	1	55.754	1.00	0.0021
Intra grupos	4.4519	4	1.1129		
Total (Corr.)	60.2059	5			

*El valor – p indica el nivel de significancia con el cual se toma la decisión del análisis.

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 40, debido a que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, determinando no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 5 variables con un nivel del 95.0% de confianza.

En las Figuras de los anexos 3, podemos observar que los tratamientos presentaron una diferencia significativa, por lo que se puede evidenciar que al emplear la concentración E2-C se tendrá mayores % porcentajes de producción de biogás, entonces podríamos optar por trabajar con la concentración de E2-C.

La producción máxima de biogás en la primera fase de concentraciones, obtuvo valores de 164.767 ± 64.43 mL en bovino, 138.83 ± 42.33 mL en ovino y 247.43 ± 32.70 mL en combinado, siendo estos los promedios totales de cada prueba, mostrando así la influencia que puede tener las concentraciones de cada materia prima además de los pretratamientos en cada una de estos antes de llevar a cabo el montaje en el biodigestor durante 45 días, misma cantidad de tiempo como en la investigación de Barrena et al (30).

En consecuencia, de los resultados obtenidos, de acuerdo con el volumen de CO₂ obtenido en cada una de las probetas, y por el tiempo evaluado, se concluyó que los porcentajes de materia prima en los ensayos realizados con E2-B (concentraciones de 50% de estiércol, 25% de rastrojo y 25 % de agua), presentaron mayor rendimiento.

En caso del estiércol ovino más rastrojos de maíz, se concluyó que el sistema E2 (concentraciones de 50% de estiércol, 25% de rastrojo y 25 % de agua), tenía mejor rendimiento en producción de biogás.

Y en caso del combinado de ambos con rastrojos de maíz, los porcentajes de materia prima de mayor rendimiento fue el E2 (concentraciones de 50% de estiércol, 25% de rastrojo y 25 % de agua).

Cabe mencionar que los pretratamientos a los cuales fueron sometidos todas muestras tienen un efecto positivo en la degradación y en la elaboración de biogás concordando así con Monteros et al. (32) y Castillo et al (60).

Según los resultados obtenidos respecto a la concentración que obtuvo mayor rendimiento de biogás producido con estiércol bovino, se observa la cantidad de sustratos y agua a utilizar, con un porcentaje menor de agua, hecho que es discutido en otras investigaciones como en la de Barrena et al. (30), señalando la importancia de dilución de agua, deduciendo que aumentando el volumen de agua no se logra aumentar la producción de biogás, sino por el contrario se reduce. Por su parte Oyuela et al. (34), señala que la dilución por lo general debe estar dividida en 30% de materia sólida o materia orgánica y 70% de agua. En nuestra investigación la concentración del experimento 2 con concentraciones de 50% de estiércol, 25% de rastrojo y 25 % de agua, son similares a lo mencionado por Barrena et al. (30), ya que en nuestra investigación coinciden con los resultados obtenidos y teniendo en cuenta la capacidad de los digestores los valores son aceptables a nivel de laboratorio.

Los resultados de volumen obtenidos en la producción de gas son muy similares a la investigación de Durazno et al. (35), en donde se evidenció una producción de gas de 48.8 litros equivalente a la generación total de un 43% de biogás bovino obtenido durante 50 días de digestión, valor menor obtenido en nuestro E2-B, con menor tiempo de retención, y esto puede deberse al control en la temperatura que se tuvo con los digestores ya que al igual que en la investigación los resultados obtenidos también coinciden con lo expuesto por Monteros et al. (32) que nos dice que a menor temperatura mayor tiempo de retención necesitara nuestro digestor, y al igual que Durazno et al. (35), algunos cambios bruscos registrados con la temperatura durante los meses de Enero y Marzo, que son épocas de lluvia y humedad en el ambiente, resultaron perjudiciales para la acción de los microorganismos encargados de la digestión, no obstante, en nuestra investigación, no se mostró evidencias que esto afecte de manera total en nuestro proceso de producción de biogás, ya que se obtuvieron resultados aceptables a nivel de laboratorio según bibliografía anteriormente mencionada.

Cabe mencionar que la importancia de las concentraciones de nuestros sustratos es importante y de hecho es un tema discutido en investigaciones como las Castro et al. (5), donde se puede ver el proceso de obtención de biogás combustible mediante digestión anaeróbica para lo cual se evaluaron dos procesos de concentraciones de los sustratos, el primero fue utilizando 80 % de residuos de cosecha de tomate con 20 % de estiércol bovino y el segundo utilizando 50 % de residuos de cosecha con 50 % de estiércol, las proporciones varían según los autores y pilotos realizados en cada investigación, hay reportes como el de Kim y Kang (36), que indican que la codigestión de mezclas que contienen cantidades iguales de sustratos produce la mayor cantidad de metano en comparación con el uso de sustratos individuales, por otro lado Teniza-García et al. (37), indican que las codigestiones se llevan a cabo usando mezclas del 10 al 50 % en peso de los diferentes sustratos Castro et al. (5), para nuestra investigación se tomó de referencia dichos datos y a su vez se realizaron experimentos pilotos resultando es esas concentraciones utilizadas en la primera fase.

Así mismo cabe mencionar que los pretratamientos aplicados antes de montar los biodigestores, para ambos experimentos, tanto el triturado y tamizado como pretratamiento muestran resultados favorables para el proceso de fermentación ya que ayudan al sustrato para que tenga una mayor eliminación de material grueso y aumento del área superficial donde los microorganismos descomponen mejor el sustrato coincidiendo así con los resultados obtenidos en la investigación Zhang et al. (38).

Los resultados obtenidos de E1-B vs E2-B muestran diferencias significativas entre ambas concentraciones, lo cual refuerza los datos obtenidos mediante medición diaria de biogás producido y la última medida realizada al alcanzar el pico máximo a los 45 días.

Respecto a los resultados de la producción de biogás, se obtuvo por día del estiércol de ovino dependió básicamente de su potencial como sustrato, en otras investigaciones como las de Medina et al. (39), determinaron la producción de metano alrededor de la tercera semana de retención en todas las repeticiones, por lo que se debe tener en consideración que durante los primeros días, la actividad microbiana se concentra en la degradación de las moléculas orgánicas complejas, lo cual explicaría el aumento del volumen que si es progresivo pero con valores bajos en nuestra investigación, resultados que difieren un poco pero que al igual que Castillo et al. (60), en el transcurso de los primeros días el biogás se incrementó progresivamente desde el día cero. Según Duran et al. (31), el pico máximo en el proceso de

digestión dentro del biodigestor ovino fue en la octava semana y su producción baja fue durante las tres primeras semanas, dando por concluido que en la medida que tuvo mayor tiempo se pudo observar que el oxígeno descendía dentro del biodigestor. Por lo tanto, mientras más tiempo de retención haya en el biodigestor los valores de biogás con estiércol ovino hubiesen podido incrementar en cuanto al tiempo, es por ello que los resultados reportados según Amante et al. (28), a partir del estiércol de ovino obtuvo un buen porcentaje de generación de metano y un buen tiempo de retención. Por otro lado, Wang et al. (40), obtuvo porcentajes de 97 %, hasta 103.2% con pretratamientos biológicos.

Los resultados según estadística obtenidos de E1-O vs E2-O muestran diferencias significativas entre ambas concentraciones, lo cual refuerza los datos obtenidos mediante medición diaria de biogás producido y la última medida realizada al alcanzar el pico máximo a los 45 días.

Para la determinación de biogás producido con estiércol combinado más restos, muestran que al igual que Castillo et al. (60) y Bedoya et al. (41), donde se trabajaron con concentraciones diferentes empleando pretratamientos similares y con tiempos de retención distintos, obtuvieron cantidades altas a los 35 días de un total de 75 días de retención, obteniéndose biogás a partir del octavo día hasta los 63 días donde se obtuvo 445 L de biogás de una combinación entre estiércol ovino y chivo, todo esto trabajado con tres biodigestores tipo semitubular de 1.70 m por 0.50 m de diámetro, en comparación con nuestros digestores a nivel de laboratorio la cantidad producida es muy similar a la de Carpio et al. (42), donde el sistema empleado (S3) fue el que generó el mayor volumen de biogás; estando compuesto por 25% de estiércol de vaca, 25% de estiércol de cerdo y 50% de estiércol de cuy. Este sistema generó hasta $33,6 \pm 0.42\%$ de metano, en donde el tiempo de retención fue de 23 días, es por ello la cantidad de producción.

Los resultados obtenidos de E1-C vs E2-C, muestran diferencias significativas entre ambas concentraciones según estadística, lo cual refuerza los datos obtenidos mediante medición diaria de biogás producido y la última medida realizada al alcanzar el pico máximo a los 45 días.

3.2. Evaluación de la influencia del producto EM-1 vs Melaza en la generación de biogás

3.2.1. Producción promedio de biogás de estiércol Bovino

En la Tabla 41, se muestra detalladamente la influencia del producto EM-1 (E1) vs Melaza (E2) por día, y la producción promedio de biogás en estiércol bovino. Los resultados se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 41. Producción promedio de biogás de estiércol Bovino.

	E1-B-EM1			E2-B-M		
	Volumen de biogás, mL			Volumen de biogás, mL		
	D1	D2	D3	D1	D2	D3
1	5.00	5.00	0.00	5.00	0.00	0.00
2	5.667	6.667	0.33	5.00	2.33	0.00
3	7.00	7.00	1.00	6.00	3.67	1.00
4	7.00	8.00	1.67	7.33	5.00	1.17
5	9.00	9.00	3.00	8.00	5.00	1.67
6	10.00	10.00	4.00	9.00	6.00	2.00
7	10.67	11.67	5.67	10.00	7.67	2.00
8	11.33	12.00	6.00	11.00	8.67	2.00
9	13.00	12.00	6.00	11.00	10.00	2.00
10	14.00	12.00	6.00	12.00	10.00	2.00
11	14.00	13.00	6.00	12.33	15.00	2.50
12	14.00	13.33	7.00	13.00	20.00	2.50
13	14.00	14.00	7.00	13.00	22.33	2.50
14	14.00	15.00	8.00	14.00	24.00	3.00

	E1-B-EM1			E2-B-M		
15	14.00	15.00	8.00	15.00	27.67	3.00
16	14.00	16.00	9.00	15.00	31.67	3.00
17	14.00	16.33	9.00	15.00	37.33	4.00
18	14.00	17.00	10.00	13.33	44.00	4.00
19	14.33	17.33	10.00	15.33	54.00	4.00
20	15.00	18.00	10.00	16.00	56.00	4.00
21	17.00	18.00	10.00	16.00	56.00	4.00
22	17.00	20.33	11.33	16.00	57.67	5.00
23	18.67	22.17	12.50	16.33	60.00	5.33
24	20.33	24.33	14.00	16.77	61.33	5.67
25	22.00	26.67	14.00	18.67	65.00	6.00
26	24.17	28.00	14.00	20.33	70.67	7.00
27	26.67	29.00	14.00	22.00	73.00	7.00
28	27.33	29.67	14.00	24.17	74.33	8.00
29	29.33	32.67	14.00	26.67	77.33	8.00
30	29.97	38.50	14.00	27.33	82.67	9.00
31	35.00	39.50	14.00	29.00	85.00	9.00
32	38.83	40.33	14.00	29.33	92.17	10.00
33	39.50	42.00	14.33	30.00	94.83	10.00
34	43.83	48.33	15.00	32.33	95.67	10.00
35	47.33	50.00	17.00	34.50	97.33	10.00
36	48.33	51.00	17.00	37.33	99.00	11.33

	E1-B-EM1			E2-B-M		
37	50.17	58.00	18.67	43.67	100.00	12.50
38	53.00	59.33	20.33	47.67	104.33	14.67
39	58.30	62.67	28.67	50.67	109.33	13.67
40	59.63	65.00	35.17	57.33	110.00	20.00
41	64.67	67.00	39.67	62.00	110.33	23.00
42	66.00	70.33	45.00	64.00	111.33	26.00
43	67.00	77.67	49.33	65.67	112.67	28.67
44	67.67	80.67	49.97	68.00	114.33	31.33
45	70.00	88.00	55.00	76.67	117.00	34.67

Fuente: elaboración propia

Para la evaluación de la influencia del tratamiento con el producto EM-1 vs solo melaza en la generación de biogás, en la Tabla 41, se evidenció la producción de biogás durante 45 días, los cuales concuerdan con los días mostrados en otras investigaciones como las de Barrena et al. (30) y durante todo el proceso se tomó la temperatura tres veces al día y se obtuvo un promedio de $29.6 \pm 3^{\circ}\text{C}$. Los resultados mostraron que E1-B-EM1 produjo un volumen acumulado final promedio de 213 ± 49.57 mL de producción de biogás para las tres réplicas y E2-B-M con el 6% de solo melaza, produjo 228.33 ± 123.51 mL de volumen promedio total de producción de biogás.

Según la Figura 20, se deduce que el E1-B-EM1 alcanzó un volumen final promedio de biogás generado proporcional al periodo de tiempo en el biodigestor, obteniendo un volumen de 71 ± 16.52 mL y para el E2-B-M, un volumen de 76.11 ± 41.17 mL de biogás producido dentro en un lapso de 45 días.

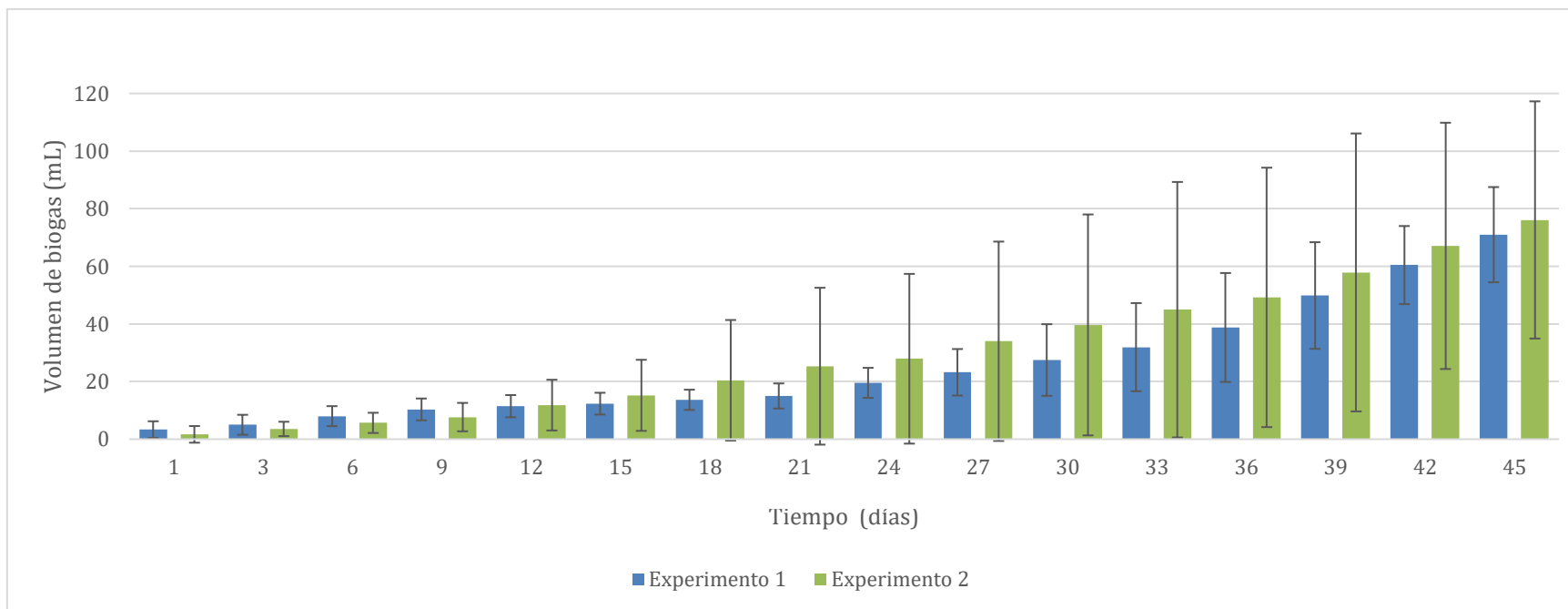


Figura 20. Producción promedio de biogás de estiércol bovino.

Fuente: elaboración propia

Determinación de la producción óptima de biogás de estiércol de ganado bovino con el producto EM-1 vs Melaza

○ **Para el tratamiento E1-B-EM1**

Para el análisis estadístico, en la Tabla 42 se puede observar los resultados obtenidos al aplicar el E1-B-EM1 (microorganismos eficientes) para producción de biogás determinando que en el día 40 se obtuvo la mayor producción de 56.6 ± 10.26 mL, por otra parte, al emplear los días 10, 20 y 30 se obtuvieron menores porcentajes de producción de biogás de 12.17 ± 1.76 , 15.0 ± 3.0 y 29.82 ± 8.75 mL respectivamente, mientras, en el día 1 solamente se obtuvo 4.67 ± 0.58 mL, según estos análisis podemos determinar que E1-B-EM1 en el día 40 se obtendrá altos porcentajes de producción de biogás de 56.6 ml.

Tabla 42. Producción promedio de biogás de E1-B-EM1 en una segunda fase

Día	Unidades	Recuento	Promedio \pm DE (%)	Coefficiente de Variación (%)
1	MI	3	4.67 ± 0.58^a	12.37
10	MI	3	12.17 ± 1.76^a	14.43
20	MI	3	15.0 ± 3.0^{ab}	20.0
30	MI	3	29.82 ± 8.75^b	29.34
40	MI	3	56.6 ± 10.26^c	18.12

*DE es la desviación estándar de las mediciones (recuento).

Fuente: elaboración propia

En la prueba de Levene de la Tabla 43, se observó una igualdad de varianzas entre los tratamientos debido a que el valor p es ≥ 0.05 indicando que no existe una diferencia estadísticamente significativa, por lo cual, se procedió a evaluar la significancia de los datos mediante la prueba de ANOVA (Tabla 44).

Tabla 43. Verificación de varianza Levene para producción óptima de biogás de E1-B-EM1

	Prueba	Valor-p
Levene	1.4546	0.2867

*El valor – p indica el nivel de significancia con el cual se toma la decisión del análisis.

Fuente: elaboración propia

Tabla 44. Análisis de varianza para la producción óptima de biogás de E1-B-EM1

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-p
Entre grupos	5072.61	4	1268.15	32.65	0.0000
Intra grupos	388.376	10	38.8376		
Total (Corr.)	5460.98	14			

*El valor – p indica el nivel de significancia con el cual se toma la decisión del análisis.

Fuente: elaboración propia

o **Para el tratamiento E2-B-M**

Para el análisis estadístico 44, se puede observar los resultados obtenidos al aplicar estiércol de ganado bovino con melaza para producción de biogás determinando que en el día 40 se obtuvo la mayor producción de 91.84 ± 17.15 mL, por otra parte, al emplear los días 10, 20 y 30 se obtuvieron menores porcentajes de producción de biogás de 10.1 ± 1.85 , 47.2 ± 9.06 y 69.67 ± 12.01 mL respectivamente, mientras, en el día 1 solamente se obtuvo 4.43 ± 0.51 mL, según estos análisis podemos determinar que con melaza en el día 40 se obtendrá altos porcentajes de producción de biogás de 91.84 mL.

Tabla 45. Producción promedio de biogás en E2-B-M (sin el producto EM-1) en una segunda fase.

Día	Unidades	Recuento	Promedio ± DE (%)	Coefficiente de Variación (%)
1	MI	3	4.43 ± 0.51 ^a	11.58
10	MI	3	10.1 ± 1.85 ^{ab}	18.34
20	MI	3	47.2 ± 9.06 ^b	19.20
30	MI	3	69.67 ± 12.01 ^c	17.23
40	MI	3	91.84 ± 17.15 ^d	18.68

*DE indica la desviación estándar de las mediciones (recuento).

Fuente: elaboración propia

Al aplicar un análisis estadístico, se determinó en la prueba de Levene (Tabla 46) una igualdad de varianzas entre los tratamientos debido a que el valor p es ≥ 0.05 indicando que no existe una diferencia estadísticamente significativa, finalmente, para evaluar la significancia de los datos se llevó a cabo una prueba de ANOVA (Tabla 47).

Tabla 46. Verificación de varianza Levene para producción óptima de biogás de E2-B-M

	Prueba	Valor-p
Levene	1.6303	0.2416

*El valor – p indica el nivel de significancia con el cual se toma la decisión del análisis.

Fuente: elaboración propia

Tabla 47. Análisis de varianza para la producción óptima de biogás de E2-B- M

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-p
Entre grupos	17011.9	4	4252.97	40.56	0.0000
Intra grupos	1048.64	10	104.864		
Total (Corr.)	18060.5	14			

*El valor – p indica el nivel de significancia con el cual se toma la decisión del análisis.

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 47, debido a que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 5 variables con un nivel del 95.0% de confianza.

En la Figura 21, se puede observar en la parte A del gráfico, que los tratamientos presentaron una diferencia significativa, así mismo, se puede determinar que, al emplear cualquiera de los días 10, 20 y 30 se tendrá menores porcentajes de producción, por lo que, podríamos optar por el día 40 por presentar mayor producción de biogás (ml).

En la parte B del gráfico, se puede observar que los tratamientos presentaron una diferencia significativa, así mismo, se puede determinar que, al emplear cualquiera de los días 10,20 y 30 se tendrá menores porcentajes de producción, por lo que, podríamos optar por el día 40 por presentar mayor producción de biogás (mL).

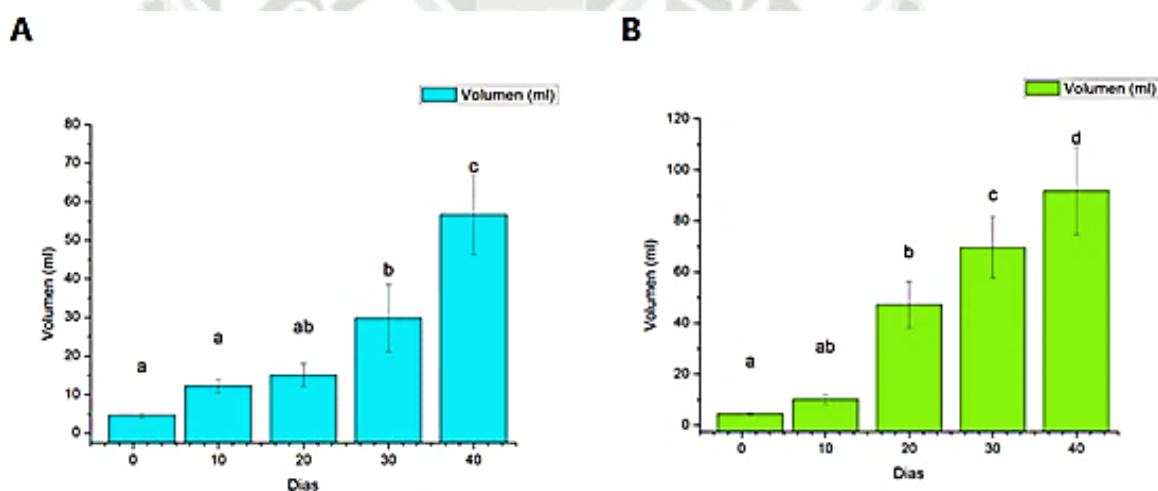


Figura 21. Producción promedio de biogás en E1-B-EM1 (A) vs E2-B-M (B) en función a días transcurridos.

Fuente: elaboración propia

Determinación de la producción de biogás en el día 45, E1-B-EM1 vs E2-B-M

Para la determinación de la producción de biogás en el día 45, se realizaron análisis estadísticos (Tabla 48), se puede observar los resultados obtenidos al emplear diferentes concentraciones de estiércol bovino para la producción de biogás determinando que en el día 45 al emplear la concentración E2-B-M se obtuvo el mayor % de producción de biogás de 89.03 ± 2.19 , mientras, que al trabajar con la concentración E1-B-EM1 se obtuvo el menor

% de producción de biogás de 68.0 ± 2.65 . Según estos análisis podemos determinar que en el día 45 se obtendrá altos porcentajes de producción de biogás del 89%.

Tabla 48. Producción de biogás en el día 45 empleando concentraciones de estiércol bovino E1-B-EM1 y E1-B-M

Concentración	Recuento	Promedio \pm DE(%)	Coefficiente de Variación (%)
E1-B-EM1	3	68.0 ± 2.65^a	3.89
E1-B-M	3	89.03 ± 2.19^b	2.46

*La DE indica la desviación estándar de las mediciones (recuento).

Fuente: elaboración propia

En la prueba de Levene de la Tabla 49, se observó una igualdad de varianzas entre los tratamientos debido a que el valor p es ≥ 0.05 indicando que no existe una diferencia estadísticamente significativa. Para evaluar la significancia de los datos se llevó a cabo una prueba de ANOVA (Tabla 50).

Tabla 49. Verificación de varianza Levene para la producción de biogás en el día 45 empleando concentraciones de estiércol bovino E1-B-EM1 y E1-B-M

	Prueba	Valor-p
Levene	0.0239	0.8845

*El valor – p indica el nivel de significancia con el cual se toma la decisión del análisis.

Fuente: elaboración propia

Tabla 50. Análisis de varianza para la producción de biogás al día 45 empleando concentraciones de estiércol bovino E1-B-EM1 y E1-B-M

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-p
Entre grupos	663.602	1	663.602	112.42	0.0004
Intra grupos	23.6105	4	5.90262		
Total (Corr.)	687.212	5			

*El valor – p indica el nivel de significancia con el cual se toma la decisión del análisis.

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 50, debido a que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 5 variables con un nivel del 95.0% de confianza.

En las gráficas del Anexo 3, podemos observar que los tratamientos presentaron una diferencia significativa, por lo que podemos trabajar con cualquiera de las concentraciones, así mismo se puede evidenciar que al emplear la concentración E2-B-M se tendrá mayores % porcentajes de producción de biogás, entonces podríamos optar por trabajar con la concentración de E2-B-M.

3.2.2. Producción promedio de biogás de estiércol Ovino

En la Tabla 51, se muestra detalladamente la influencia del producto EM-1 (E1) vs Melaza (E2) por día, y la producción promedio de biogás en estiércol ovino. Los resultados se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 51. Producción promedio de biogás de estiércol de ganado ovino.

	E1-O-EM1			E2-O-M		
	Volumen de biogás, ML			Volumen de biogás, ML		
	D1	D2	D3	D1	D2	D3
1	2.5	0	0	0	0	0
2	2.5	0.333	0.33	1	0.33	0.33
3	3	1	2	1	1	1
4	3	2	2.67	2	2	1
5	4	3.33	3	3	3	1
6	5	4	4	4	4	1
7	4.67	5.33	3.67	4	5	1

8	6	6.33	5	6.33	6	1
9	6	7	5	7	8	1
10	6	8	6	7	9	1
11	6	9	6.33	7	9	1
12	7	10	7	8	10	1
13	7	10.33	8	8	10.33	2
14	7.33	11.33	8.33	9	11	2
15	8	12	9.33	9	11.33	2
16	8	13	10	10	12.33	2
17	8	14.33	11	10	13	2.5
18	8	15	11	10	14	2.5
19	8	15	11.33	10.33	15	3.33
20	8.33	15	12	11.33	15.33	4.67
21	10	15	12.67	11	16	10.33
22	11.33	15	13	11.67	17.67	15.67
23	13.33	15	13	14	21.33	22
24	16.63	14	14.4	17.95	27.33	24
25	18	15.32	15.11	18.78	37.33	29
26	18.33	16.5	15.18	19.5	41.97	29.67
27	19.35	16.93	15.7	19.6	47.63	32.33
28	21.02	18.15	16.5	21.17	50.9	34.67
29	22.6	19.5	17.38	22.48	51.1	38
30	24.33	21	19.22	24.22	52	44.73

31	27.2	28.47	20.02	24.67	52.33	48.57
32	27.8	30.5	21.87	26.73	52.6	50.27
33	27.9	31.27	23.02	28.45	52.88	52.8
34	28.73	32.8	26.6	29.93	53.3	53
35	30.33	33.1	30.67	30	53.83	53
36	30.85	33.5	35	32.67	47	53
37	32	34.17	37	33.77	46.63	53.17
38	35.17	34.63	39.1	36.1	57.67	53.85
39	36.17	35.33	40.87	37.4	59.8	55.47
40	37	35.9	41.7	38.58	61.43	57.67
41	37.53	35.9	43	42.12	61.72	59.8
42	39.5	37.27	43.33	48.48	62.68	61.43
43	40	38.5	45	50.93	64.08	61.72
44	41.33	43.67	45.67	58.63	36.83	62.68
45	44	45.67	47.67	67.35	37	64.08

Fuente: elaboración propia

La Tabla 51, se evidenció la producción de biogás durante 45 días, los cuales concuerdan con los días mostrados en otras investigaciones como las de Barrena et al. (30) y durante todo el proceso se tomó la temperatura tres veces al día y se obtuvo un promedio de $29.6 \pm 3^\circ\text{C}$. Los resultados muestran que E1-O-EM1 produjo un volumen acumulado final promedio de 137 ± 5.51 ml en producción biogás de cada una de las réplicas y por otro lado E2-O-M produjo 168.43 ± 49.68 ml de volumen promedio total de producción de biogás. Esta diferencia de ambos promedios obtenidos por los controles por triplicado realizados, evidencian que E2-O-M, tiene mayor rendimiento de biogás.

Según la Figura 22, se deduce que el estiércol ovino en la fase del tratamiento con y sin el producto EM1 vs Melaza alcanzó un volumen final promedio de biogás generado proporcional al periodo de tiempo en el biodigestor, donde se obtuvo para en E1-O-EM1 un volumen de 45.78 ± 1.84 mL y para el E2-O-M un volumen de 56.14 ± 16.66 mL de biogás producido dentro en un lapso de 45 días.



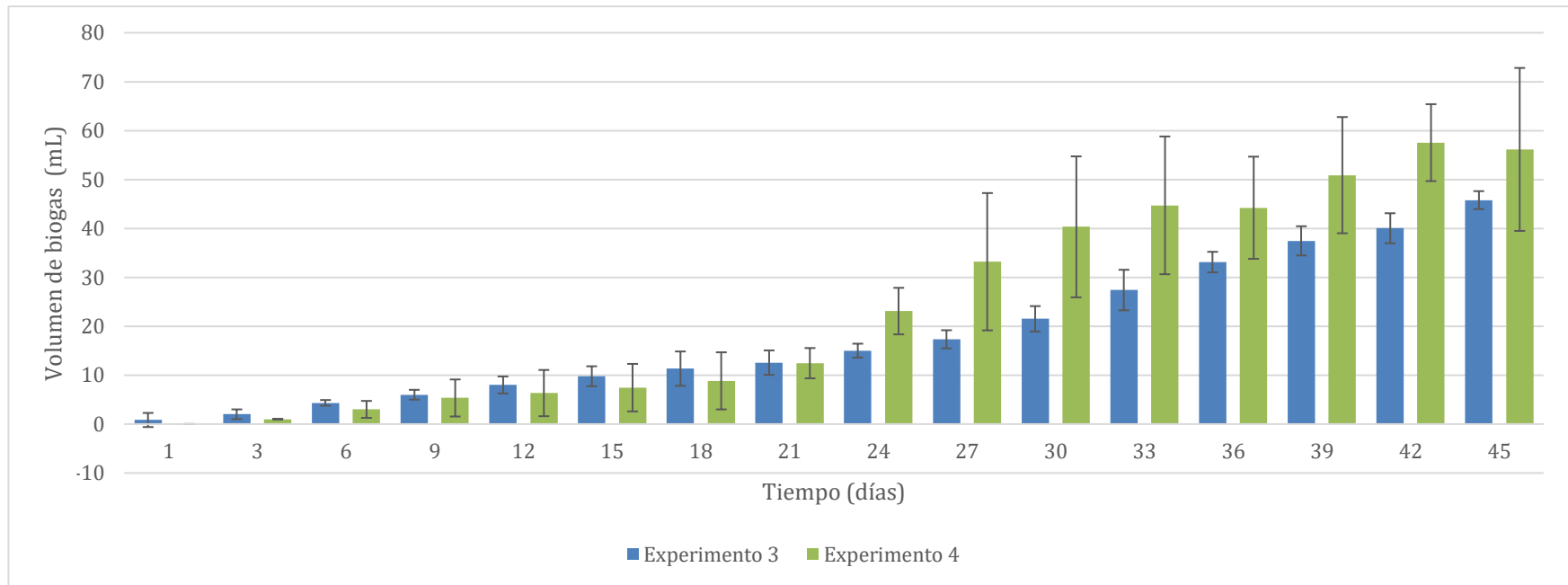


Figura 22. Producción promedio de biogás de estiércol de ganado ovino.

Fuente: elaboración propia

Determinación de la producción óptima de biogás de estiércol de ganado ovino con el producto EM-1 vs Melaza

○ **Para el tratamiento E1-O-EM1**

Los resultados obtenidos por análisis estadístico (Tabla 52) se pueden observar que al aplicar estiércol de ganado ovino con el productor EM-1 para producción de biogás determinando que en el día 40 se obtuvo la mayor producción de 38.2 ± 3.08 mL, por otra parte, al emplear los días 10,20 y 30 se obtuvieron menores porcentajes de producción de biogás de 6.67 ± 1.15 , 12.43 ± 2.38 y 21.52 ± 2.59 mL respectivamente, mientras, en el día 1 solamente se obtuvo 2.13 ± 0.32 mL, según estos análisis podemos determinar que con EM-1 en el día 40 se obtendrá altos porcentajes de producción de biogás de 38.2 mL.

Tabla 52. Producción promedio de biogás de estiércol de ganado bovino con el producto EM-1 en una segunda fase

Día	Recuento	Promedio \pmDE (%)	Coefficiente de variación (%)
1	3	2.13 ± 0.32^a	15.02
10	3	6.67 ± 1.15^{ab}	17.24
20	3	12.43 ± 2.38^b	19.15
30	3	21.52 ± 2.59^c	12.04
40	3	38.20 ± 3.08^d	8.06

*La DE indica la desviación estándar de las mediciones (recuento).

Fuente: elaboración propia

En la prueba de Levene de la Tabla 53, se observó una igualdad de varianzas entre los tratamientos debido a que el valor p es ≥ 0.05 indicando que no existe una diferencia estadísticamente significativa, finalmente, para evaluar la significancia de los datos se llevó a cabo una prueba de ANOVA (Tabla 54).

Tabla 53. Verificación de varianza Levene para producción óptima de biogás de estiércol de ganado ovino

	Prueba	Valor-p
Levene	0.6634	0.6315

*El valor – p indica el nivel de significancia con el cual se toma la decisión del análisis.

Fuente: elaboración propia

Tabla 54. Análisis de varianza para la producción óptima de biogás de estiércol de ganado ovino

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-p
Entre grupos	2445.63	4	611.407	131.10	0.0000
Intra grupos	46.6365	10	4.6637		
Total (Corr.)	2492.27	14			

*El valor – p indica el nivel de significancia con el cual se toma la decisión del análisis.

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 54, se observa que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05 reportando existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 5 variables con un nivel del 95.0% de confianza.

○ **Para el tratamiento E2-O-M**

Los resultados obtenidos por análisis estadístico (Tabla 55), se puede observar que al aplicar estiércol de ganado ovino con melaza para producción de biogás determinando que en el día 40 se obtuvo la mayor producción de 55.99 ± 6.29 mL, por otra parte, al emplear los días 10, 20 y 30 se obtuvieron menores porcentajes de producción de biogás de 7.57 ± 1.56 , 12.44 ± 2.52 y 43.65 ± 8.94 mL respectivamente, mientras, en el día 1 solamente se obtuvo 1.27 ± 0.25 mL, según estos análisis podemos determinar que en el día 40 se obtendrá altos porcentajes de producción de biogás de 55.99 ml.

Tabla 55. Producción promedio de biogás de estiércol de ganado ovino con Melaza en una segunda fase

Día	Unidades	Recuento	Promedio \pm DE (%)	Coefficiente de Variación (%)
1	Ml	3	1.27 \pm 0.25 ^a	19.87
10	Ml	3	7.57 \pm 1.56 ^a	20.66
20	Ml	3	12.44 \pm 2.52 ^a	20.26
30	Ml	3	43.65 \pm 8.94 ^b	20.48
40	Ml	3	55.99 \pm 6.29 ^b	11.23

*La DE indica la desviación estándar de las mediciones (recuento).

Fuente: elaboración propia

La prueba de Levene (Tabla 56), arrojó una igualdad de varianzas entre los tratamientos debido a que el valor p es ≥ 0.05 indicando que no existe una diferencia estadísticamente significativa, para evaluar la significancia de los datos se llevó a cabo una prueba de ANOVA (Tabla 57).

Tabla 56. Verificación de varianza Levene para producción óptima de biogás de estiércol de ganado ovino

	Prueba	Valor-p
Levene	1.55	0.2611

*El valor p indica el nivel de significancia con el cual se toma la decisión del análisis.

Fuente: elaboración propia.

Tabla 57. Análisis de varianza para la producción óptima de biogás de estiércol de ganado ovino

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-p
Entre grupos	6989.83	4	1747.46	68.09	0.0000
Intra grupos	256.638	10	25.6638		
Total (Corr.)	7246.46	14			

*El valor – p indica el nivel de significancia con el cual se toma la decisión del análisis.

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 57, se observa que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 5 variables con un nivel del 95.0% de confianza.

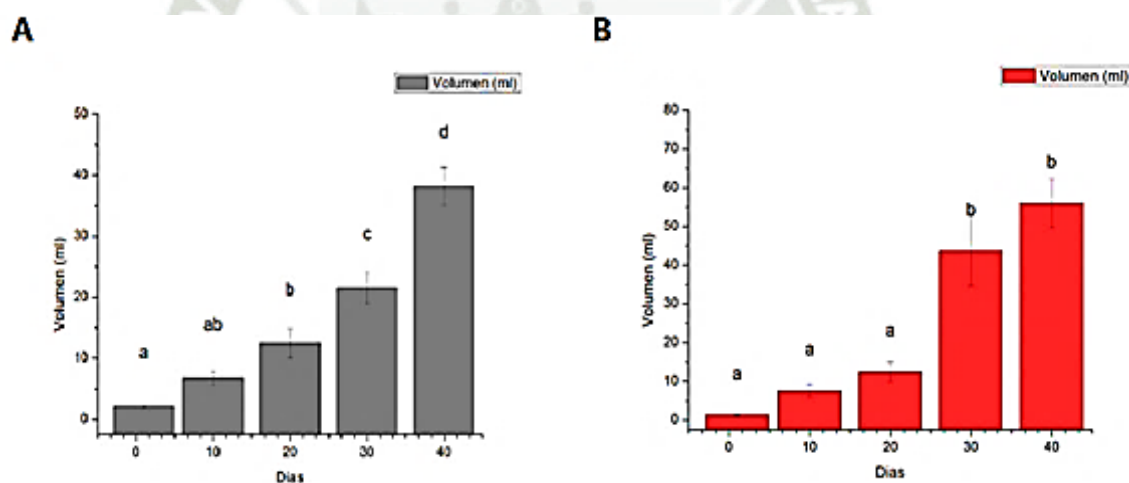


Figura 23. Producción promedio de biogás de E1-O-EM1 (A) vs E2-O-M (B) en función a días transcurridos.

Fuente: elaboración propia

En la Figura 23, del lado A de la gráfica, podemos observar que los tratamientos presentaron una diferencia significativa, así mismo, se puede determinar que, al emplear cualquiera de los días 10,20 y 30 se tendrá menores porcentajes de producción, por lo que, podríamos optar por el día 40 por presentar mayor producción de biogás (ml).

En el lado B de la gráfica, podemos observar que los tratamientos presentaron una diferencia significativa, así mismo, se puede determinar que, al emplear cualquiera de los días 10,20 y 30 se tendrá menores porcentajes de producción, por lo que, podríamos optar por el día 40 por presentar mayor producción de biogás (ml).

Determinación de la producción de biogás en el día 45, E1-O-EM1 (A) vs E2-O-M (B)

Para la determinación de la producción de biogás en el día 45, se realizaron análisis estadísticos (Tabla 58), donde se puede observar los resultados obtenidos al emplear diferentes concentraciones de estiércol ovino para la producción de biogás determinando que en el día 45 al emplear la concentración E2-O-M se obtuvo el mayor % de producción de biogás de 65.48 ± 1.69 , mientras, que al trabajar con la concentración E1-O-EM1 se obtuvo el menor % de producción de biogás de 45.78 ± 1.84 . Según estos análisis podemos determinar que en el día 45 se obtendrá altos porcentajes de producción de biogás del 65%.

Tabla 58. Producción de biogás en el día 45 empleando concentraciones de estiércol ovino E1-O-EM1 y E2-O-M

Concentración	Recuento	Promedio \pm DE (%)	Coefficiente de variación (%)
E1-O-EM1	3	45.78 ± 1.84^a	4.01
E2-O-M	3	65.48 ± 1.69^b	2.58
Prueba		Valor – p	Interpretación
SW		0.0605	DN
LEV		0.8920	NS
ANOVA		0.0002	S

*DN: Distribución normal $p \geq 0.05$ S: significativo $p < 0.05$, NS: No significativo $p \geq 0.05$.

Fuente: elaboración propia

La prueba de Levene (Tabla 59), muestra una igualdad de varianzas entre los tratamientos debido a que el valor p es ≥ 0.05 indicando que no existe una diferencia estadísticamente significativa. Para evaluar la significancia de los datos se llevó a cabo una prueba de ANOVA como se ilustra en la Tabla 60.

Tabla 59. Verificación de varianza Levene para la producción de biogás en el día 45 empleando concentraciones de estiércol ovino E1-O-EM1 y E1-O-M

	Prueba	Valor-p
Levene	0.0209	0.8920

*El valor – p indica el nivel de significancia con el cual se toma la decisión del análisis.

Fuente: elaboración propia

Tabla 60. Análisis de varianza para la producción de biogás al día 45 empleando concentraciones de estiércol ovino E1-O-EM1 y E1-O-M

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-p
Entre grupos	581.938	1	581.938	187.12	0.0002
Intra grupos	12.4399	4	3.10997		
Total (Corr.)	594.378	5			

*El valor – p indica el nivel de significancia con el cual se toma la decisión del análisis.

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 60, debido a que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, determinando existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 5 variables con un nivel del 95.0% de confianza.

Adicionalmente, en las Figuras de los efectos (Anexo 3), podemos observar que los tratamientos presentaron una diferencia significativa, por lo que podemos trabajar con cualquiera de las concentraciones, así mismo se puede evidenciar que al emplear la concentración E1-O-M se tendrá mayores % porcentajes de producción de biogás, entonces podríamos optar por trabajar con la concentración de E1-O-M.

3.2.3. *Producción promedio de biogás de estiércol combinado*

En la Tabla 61, se muestra detalladamente la influencia del producto EM-1 (E1) vs Melaza (E2) por día, y la producción promedio de biogás en estiércol Combinado.

Tabla 61. Producción promedio de biogás de estiércol de ganado combinado.

	E1-C-EM1			E2-C-M		
	Volumen de biogás (mL)			Volumen de biogás (mL)		
	E1	E2	E3	E1	E2	E3
1	15.00	10.00	15.00	10.00	163.33	15.00
2	16.00	10.00	16.00	10.67	240.00	15.67
3	16.00	13.67	18.67	13.00	244.33	18.33
4	17.00	15.00	21.33	15.33	248.00	20.00
5	17.00	15.00	21.33	15.33	248.00	21.00
6	20.00	18.00	24.00	19.00	250.00	22.00
7	20.00	18.00	24.00	19.00	250.00	22.00
8	22.00	19.00	25.00	20.67	250.00	23.00
9	24.33	20.00	24.67	22.00	250.00	24.00
10	25.33	20.00	28.00	22.00	250.00	25.00
11	26.00	21.00	28.00	23.00	250.00	25.00
12	26.00	22.00	30.00	25.33	250.00	26.33
13	27.00	22.33	30.00	26.00	250.00	27.00
14	27.00	23.33	31.00	27.33	250.00	28.00
15	28.00	24.00	30.67	28.00	250.00	30.00
16	29.00	24.00	32.00	28.33	250.00	31.00
17	30.00	24.33	33.00	29.00	250.00	32.33
18	30.00	25.00	33.33	30.00	250.00	33.00
19	30.00	25.00	34.00	30.00	250.00	34.00

20	30.00	100.33	35.00	30.00	250.00	35.00
21	30.00	26.00	35.00	30.00	250.00	35.00
22	30.00	27.00	35.00	31.00	250.00	35.00
23	30.00	28.00	35.00	31.00	250.00	35.00
24	32.67	28.17	37.00	32.00	250.00	35.00
25	36.10	29.67	53.85	33.00	260.00	35.00
26	37.40	30.57	55.47	35.00	260.00	38.00
27	38.58	31.50	57.67	35.00	260.00	38.00
28	42.12	33.20	59.80	40.00	265.00	38.00
29	48.48	33.95	61.43	42.00	265.00	40.00
30	50.93	35.53	61.72	42.00	265.00	40.00
31	58.63	36.83	62.68	45.00	267.00	40.00
32	67.35	37.00	64.08	45.00	267.00	43.00
33	72.70	37.47	65.87	47.00	268.00	43.00
34	77.00	38.57	68.28	47.00	268.00	45.00
35	81.07	47.60	71.40	50.00	270.00	47.00
36	83.83	50.13	73.73	55.00	273.00	47.00
37	87.30	53.97	74.93	59.00	273.00	50.00
38	91.33	58.50	75.47	59.67	274.00	50.67
39	92.33	62.87	76.53	61.33	275.33	51.33
40	93.80	68.50	77.30	63.00	277.00	52.00
41	94.67	73.67	79.10	65.00	279.00	54.00
42	95.33	76.00	81.33	65.00	280.00	56.00

43	96.67	77.67	84.67	68.00	280.67	57.67
44	98.33	79.33	88.00	68.67	282.00	59.00
45	101.67	86.33	90.67	70.00	283.33	60.00

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 61, se evidenció la producción de biogás durante 45 días, los cuales concuerdan con los días mostradas en otras investigaciones como las de Barrena et al. (30) y durante todo el proceso se tomó la temperatura tres veces al día y se obtuvo un promedio de $29.6 \pm 3^{\circ}\text{C}$. Los resultados muestran que E1-C-EM1 produjo un volumen acumulado final promedio de 278.67 ± 23.71 mL en producción biogás para las tres réplicas y E2-C-M produjo 413.33 ± 378.46 mL de volumen promedio total de producción de biogás. Esta diferencia de ambos promedios obtenidos por los controles por triplicado realizados, evidencian que E2 tiene mayor rendimiento de biogás producido.

Según la Figura 24, se deduce que el estiércol combinado de bovino y ovino en la fase del tratamiento con y sin el producto EM1 vs Melaza, en donde sé un volumen final promedio de biogás generado proporcional al periodo de tiempo en el biodigestor, donde se obtuvo para el tratamiento E1-C-EM1 un volumen de 92.89 ± 7.90 ml y para el tratamiento E2-C-M un volumen de 137.78 ± 126.15 ml de biogás producido dentro en un lapso de 45 días.

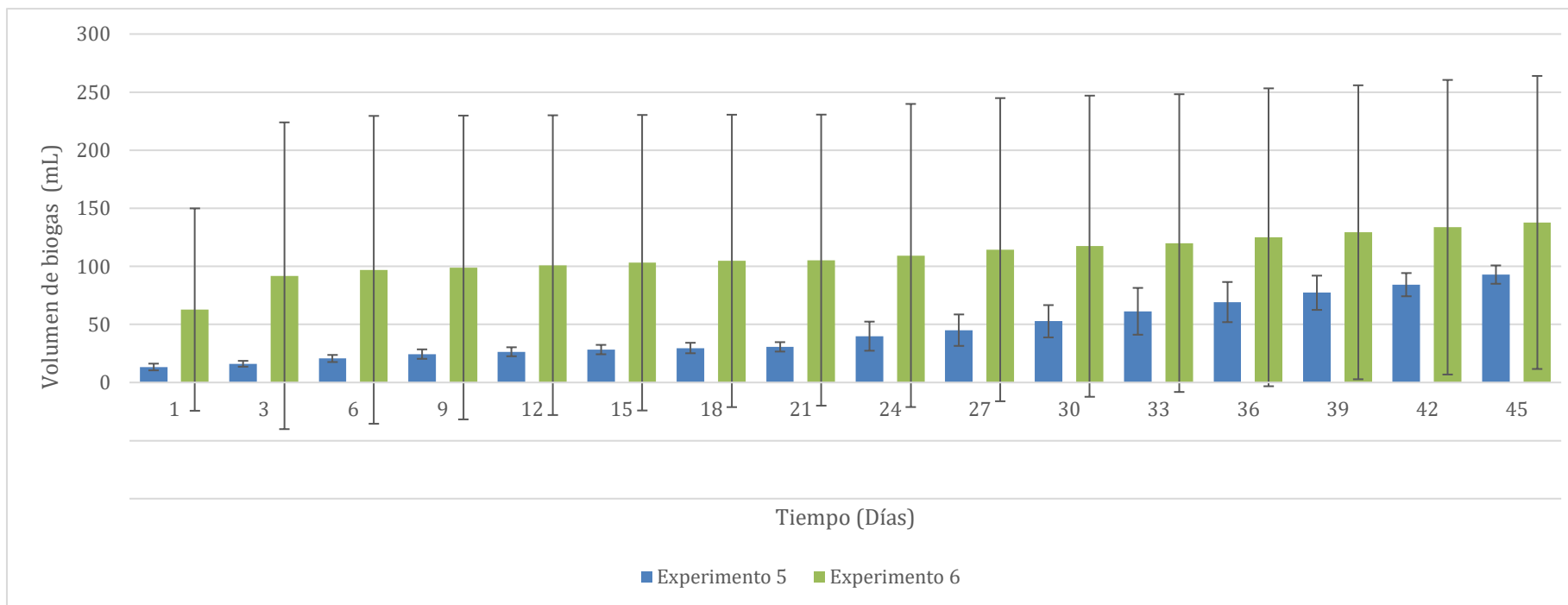


Figura 24. Producción promedio de biogás de estiércol de ganado combinado.

Fuente: elaboración propia

Determinación de la producción óptima de biogás de estiércol de ganado Combinado con el producto EM-1 vs Melaza

○ **Para el tratamiento E1-C-EM1**

Los resultados por análisis estadístico (Tabla 62), nos muestran que al aplicar estiércol de ganado combinado con el producto EM-1 para producción de biogás determinando que en el día 40 se obtuvo la mayor producción de 64.0 ± 12.53 mL, por otra parte, al emplear los días 10,20 y 30 se obtuvieron menores porcentajes de producción de biogás de 24.0 ± 1.73 , 31.0 ± 3.61 y 39.33 ± 3.06 mL respectivamente, mientras ,en el día 1 solamente se obtuvo 15.2 ± 3.08 ml, según estos análisis podemos determinar que en el día 40 se obtendrá altos porcentajes de producción de biogás de 64 mL.

Tabla 62. Producción promedio de biogás en E2-C-EM1 en una segunda fase.

Día	Unidades	Recuento	Promedio \pm DE (ml)	Coefficiente de Variación (%)
1	MI	3	15.2 ± 3.08^a	20.27
10	MI	3	24.0 ± 1.73^{ab}	7.22
20	MI	3	31.0 ± 3.61^{ab}	11.63
30	MI	3	39.33 ± 3.06^b	7.77
40	MI	3	64.0 ± 12.53^c	19.58

*DE indica la desviación estándar de las mediciones (recuento).

Fuente: elaboración propia

En la prueba de Levene (Tabla 63), se observó una igualdad de varianzas entre los tratamientos debido a que el valor p es ≥ 0.05 indicando que no existe una diferencia estadísticamente significativa, finalmente, para evaluar la significancia de los datos se llevó a cabo una prueba de ANOVA (Tabla 67).

Tabla 63. Verificación de varianza Levene para producción óptima de biogás de estiércol de ganado combinado

	Prueba	Valor-p
Levene	1.8256	0.2006

*El valor – p indica el nivel de significancia con el cual se toma la decisión del análisis.

Fuente: elaboración propia

Tabla 64. Análisis de varianza para la producción óptima de biogás de estiércol de ganado combinado

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-p
Entre grupos	4165.16	4	1041.29	27.14	0.0000
Intra grupos	383.647	10	38.3647		
Total (Corr.)	4548.81	14			

*El valor – p indica el nivel de significancia con el cual se toma la decisión del análisis.

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 64, se observa que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05 reportando existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 5 variables con un nivel del 95.0% de confianza.

○ **Para el tratamiento E2-C-M**

Los resultados por análisis estadístico (Tabla 65) nos muestran que al aplicar estiércol de ganado combinado con melaza para producción de biogás determinando que en el día 40 se obtuvo la mayor producción de 99.87 ± 7.68 ml, por otra parte, al emplear los días 10,20 y 30 se obtuvieron menores porcentajes de producción de biogás de 24.44 ± 4.07 , 82.33 ± 17.29 y 92.73 ± 12.01 mL respectivamente, mientras, en el día 1 solamente se obtuvo 13.93 ± 1.85 mL, según estos análisis podemos determinar que en el día 40 se obtendrá altos porcentajes de producción de biogás de 99.87 mL.

Tabla 65. Producción promedio de biogás en E2-C-M en una segunda fase.

Día	Unidades	Recuento	Promedio ± DE (ml)	Coefficient e de Variación (%)
1	MI	3	13.93 ± 1.85 ^a	13.26
10	MI	3	24.44 ± 4.07 ^a	16.66
20	MI	3	82.33 ± 17.29 ^b	21.01
30	MI	3	92.73 ± 12.01 ^b	12.95
40	MI	3	99.87 ± 7.68 ^b	7.69

*DE indica la desviación estándar de las mediciones (recuento).

Fuente: elaboración propia

Se realizó prueba de Levene (Tabla 66) con la cual se observó una igualdad de varianzas de los tratamientos debido a que el valor p es ≥ 0.05 indicando que no existe una diferencia estadísticamente significativa, por ello, para evaluar la significancia de los datos se llevó a cabo una prueba de ANOVA (Tabla 67).

Tabla 66. Verificación de varianza Levene para producción óptima de biogás de estiércol de ganado combinado

	Prueba	Valor-p
Levene	1.3001	0.3340

*El valor – p indica el nivel de significancia con el cual se toma la decisión del análisis.

Fuente: elaboración propia

Tabla 67.. Análisis de varianza para la producción óptima de biogás de estiércol de ganado combinado

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Razón – F	Valor -p
Entre grupos	19539.5	4	4882.64	46.75	0.0000
Intra grupos	1044.44	10	104.44		
Total (corregido)	20575	14			

*El valor – p indica el nivel de significancia con el cual se toma la decisión del análisis.

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 67, se observa que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05 reportando existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 5 variables con un nivel del 95.0% de confianza.

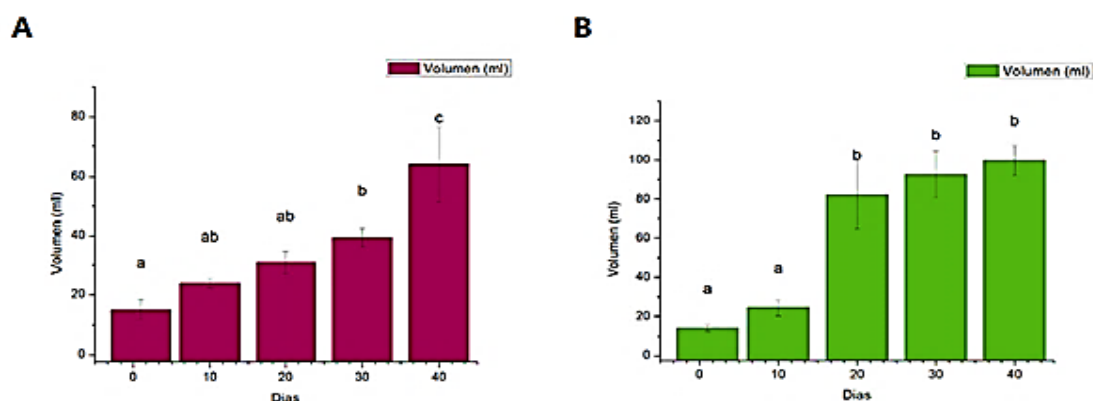


Figura 25. Producción promedio de biogás de E1-C-EM1 (A) vs E2 C-M (B) en función a días transcurridos.

Fuente: elaboración propia

En la Figura 25, del lado A del gráfico, podemos observar que los tratamientos presentaron una diferencia significativa, así mismo, se puede determinar que, al emplear cualquiera de los días 10,20 y 30 se tendrá menores porcentajes de producción, por lo que, podríamos optar por el día 40 por presentar mayor producción de biogás (mL).

Del lado B del gráfico, podemos observar que los tratamientos presentaron una diferencia significativa, así mismo, se puede determinar que, al emplear cualquiera de los días 10,20 y 30 se tendrá menores porcentajes de producción, por lo que, podríamos optar por el día 40 por presentar mayor producción de biogás (mL).

Determinación de la producción de biogás en el día 45, E1-C-EM1 vs E2-C-M

Para la determinación de la producción de biogás en el día 45, se realizaron análisis estadísticos (Tabla 68), se puede observar los resultados obtenidos al emplear diferentes concentraciones de estiércol combinado para la producción de biogás determinando que en el día 45 al emplear la concentración E1-C-M se obtuvo el mayor % de producción de biogás de 89.58 ± 2.80 , mientras, que al trabajar con la concentración E2-C-EM1 se obtuvo el menor % de producción de biogás de 82.44 ± 2.14 . Según estos análisis podemos determinar que en el día 45 se obtendrá altos porcentajes de producción de biogás del 89.58%.

Tabla 68. Producción de biogás en el día 45 empleando concentraciones de estiércol combinado E1-C-EM1 y E2-C-M.

Concentración	Recuento	Promedio \pm DE (%)	Coefficiente de Variación (%)
E1-C-EM1	3	82.44 ± 2.14^a	2.60
E2-C-M	3	89.58 ± 2.80^b	3.13

*DE indica la desviación estándar de las mediciones (recuento).

Fuente: elaboración propia

En la prueba de Levene (Tabla 69), se observó una igualdad de varianzas entre los tratamientos debido a que el valor p es ≥ 0.05 indicando que no existe una diferencia estadísticamente significativa, por lo cual, para evaluar la significancia de los datos se llevó a cabo una prueba de ANOVA (Tabla 70).

Tabla 69. Verificación de varianza Levene para la producción de biogás en el día 45 empleando concentraciones de estiércol combinado E1-C-EM1 y E2-C-M

	Prueba	Valor-p
Levene	0.0673	0.8081

*El valor – p indica el nivel de significancia con el cual se toma la decisión del análisis.

Fuente: elaboración propia

Tabla 70. Análisis de varianza para la producción de biogás al día 45 empleando concentraciones de estiércol combinado E1-C-EM1 y E2-C-M

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor p
Entre grupos	76.3267	1	76.3267	12.26	0.0249
Intra grupos	29.9115	4	6.2279		
Total (Corr.)	101.238	5			

*El valor – p indica el nivel de significancia con el cual se toma la decisión del análisis.

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 70, debido a que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, determinando existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 5 variables con un nivel del 95.0% de confianza.

Adicionalmente, en los gráficos de efectos (Anexo 3), podemos observar que los tratamientos presentaron una diferencia significativa, por lo que podemos trabajar con cualquiera de las concentraciones, así mismo se puede evidenciar que al emplear la concentración E1-C-M se tendrá mayores % porcentajes de producción de biogás, por lo que, podríamos optar por trabajar con la concentración de E1-C-M.

La producción máxima de biogás en la segunda fase en donde se evalúa la influencia del tratamiento con el producto EM-1 vs melaza en la generación de biogás, mostraron que E1-B-EM1 produjo un volumen acumulado final promedio de 213 ± 49.57 mL de producción de biogás para las tres réplicas y E2-B-M produjo 228.33 ± 123.51 mL de volumen promedio total de producción de biogás.

En consecuencia, de los resultados obtenidos, de acuerdo con el volumen de CO₂ obtenido en cada una de las probetas, y por el tiempo evaluado, se concluyó que el E2-B-M, producía mayor cantidad de biogás en comparación con los resultados obtenidos de E1-B-EM1 donde se produjo un volumen acumulado final promedio de 213 ± 49.57 mL de producción de biogás para las tres réplicas y E2-B con el 6% de melaza, produjo 228.33 ± 123.51 mL de volumen promedio total de producción de biogás. Esta diferencia de ambos promedios obtenidos de los controles por triplicado realizados, evidencian que E2-B-M tiene un mayor rendimiento de biogás producido, resultados que coinciden a los reportados por Sanclemente et al. (43), en donde se trabajó con microorganismos eficientes vs melaza llegando a la conclusión que la melaza siendo como un catalizador o en otras palabras un acelerador finito, permite una mayor velocidad de descomposición explicando así el uso de carbohidratos disponibles por la melaza, que permiten un ligero incremento en la velocidad de descomposición de los residuos, y que por otro lado la adición de microorganismos eficientes sin ninguna fuente energética rápida, retarda un poco el proceso.

No obstante, cabe mencionar que al igual que en la bibliografía como también se ve en Sanclemente et al. (43), es necesario mencionar que nuestra materia prima tanto el estiércol como fuente de carbono como también los rastrojos de maíz, existe gran diversidad de microorganismos que de una u otra forma ayudan al proceso y si bien el producto EM-1 ayudaría tanto para la obtención de una buena calidad de biol también ayudaría a la generación de biogás potenciando la descomposición de toda la materia con la ayuda de los microorganismos metanogénicos y la activación de estos con melaza.

Los resultados muestran que solo el uso de melaza como acelerador de la descomposición de materia orgánica, muestran una alta tasa de descomposición ayudando a los microorganismos presentes en la materia, los cuales presentaron valores no tan estrechos en ambas pruebas a comparación del uso de este producto con los microorganismos.

En nuestra investigación los valores finales a los 45 días, si muestran diferencias significativas no obstante cabe mencionar que tanto el producto EM-1 como el uso único con 6% de melaza para los digestores, produciría metano y a la biodegradación del sustrato en menos tiempo, coincidiendo respecto al tiempo con Garcés et al. (44)

Esta diferencia en los resultados en nuestra investigación según Vélez et al. (45), puede verse porque la producción de metano disminuye cuando se fermentan azúcares fácilmente

degradables por las bacterias debido a una disminución del pH. Por su parte, Xu et al. (46) nos habla de la importancia del pH y afirma que la disminución del pH a niveles inferiores a 6 en el biodigestor como en el caso de las mezclas con melaza y EM en su investigación, puede inhibir la metanización, lo cual disminuye las cualidades energéticas del biogás Zelaya et al (47).

En nuestra investigación se hicieron mediciones de pH tanto al inicio de montar el biodigestor como al final del resultado obtenido, el cual es nuestro biol. La medición se hizo con cintas de pH, y en el caso de melaza al inicio se tuvo un valor de 6.5 finalizando con un pH de 6,8 y en el caso de Em-1 inicio con un pH de 6.5 finalizando con un valor de 6.3, si bien no es una diferencia grande entre los pH obtenidos cabe mencionar que la diferencia de volumen obtenido al finalizar la fase, puede de verse a este parámetro, según bibliografía.

Los resultados obtenidos de E1-B-EM1 vs E2-B-M a los 45 días donde se alcanzó el pico más alto de producción muestran diferencias significativas entre ambos tratamientos según estadística, los cual refuerza los datos obtenidos mediante medición diría de biogás producido.

La producción máxima de biogás EM-1 vs melaza, teniendo como materia prima el estiércol ovino más rastrojos muestran que el E1-O-EM1 produjo un volumen final promedio de 137 ± 5.51 ml en producción biogás de cada una de las réplicas y por otro lado E2-O-M produjo 168.43 ± 49.68 ml de volumen promedio total de producción de biogás. Esta diferencia de ambos promedios obtenidos por los controles por triplicado realizados, y analizados estadísticamente, evidencian que E2-O con el tratamiento de melaza tiene mayor rendimiento de biogás.

En investigaciones como las de Duran et al. (31), se trabajó con estiércol ovino y microorganismo eficientes en donde se evaluaron tres parámetros importantes para la producción de biogás (pH, temperatura y presión), como resultado de esta investigación el biogás obtenido tuvo su mayor producción en la octava semana, mientras que su producción más baja se registró en la tercera semana. Sé tuvo un control constante en los parámetros que podrían afectar la producción de biogás y teniendo en cuenta la misma activación del producto Em-1, se puede determinar que la diferencia de nuestros resultados obtenidos en nuestra investigación puede estar referido al pH del medio ya que al igual que en el

experimento con estiércol bovino, el pH bajo cuatro puntos de los normal empezando con un pH de 6.7 y finalizando con un pH de 6.3.

Por otro lado esta diferencia de volumen de biogás obtenido entre EM-1 vs Melaza, según Sanclemente et al. , en su investigación en donde se hizo la comparación usando como sustrato residuos de hoja de caña, obtiene resultados donde el uso de melaza como acelerado finito, permitió mayor velocidad de descomposición que los microorganismos eficientes con un porcentaje de descomposición de 59.17% a diferencia del EM, esto indicaría que la melaza activa los macroorganismos presentes en el estiércol como también en los rastrojos de maíz, generando una mayor eficacia del proceso, por ende teniendo estos resultados no se ve la necesidad de aumentar más microorganismos adicionales ya que al solo activarlos y agregarlos produciría un consumo más rápido de carbohidratos y ocasionaría escases del mismo para estos microorganismos.

Los resultados obtenidos de E1-O-EM1 vs E2-O-M a los 45 días donde se alcanzó el pico más alto de producción, muestran diferencias significativas entre ambos tratamientos según estadística, los cual refuerza los datos obtenidos mediante medición diría de biogás producido.

La producción máxima de biogás EM-1 vs melaza, teniendo como materia prima el estiércol bovino y ovino (combinado) más rastrojos de maíz muestran que, el E1-C-EM1 produjo un volumen final promedio de 278 ± 23.71 mL en producción biogás de cada una de las réplicas y por otro lado E2-C-M produjo 413.33 ± 378.46 mL de volumen promedio total de producción de biogás. Esta diferencia de ambos promedios obtenidos por los controles por triplicado realizados, y analizados estadísticamente, evidencian que E2 con el tratamiento de melaza tiene mayor rendimiento de biogás producido.

Cabe recalcar que en esta segunda fase en donde se evaluó la influencia del tratamiento con el producto EM-1 vs melaza para la generación de biogás, todos los experimentos dieron como resultado a la melaza como mayor acelerador de la descomposición de materia orgánica en comparación con el producto EM-1.

Los resultados obtenidos de E1-C-EM1 vs E2-C-M a los 45, donde se alcanzó el pico más alto de producción muestran diferencias significativas entre ambos tratamientos según

estadística, los cual refuerza los datos obtenidos mediante medición diría de biogás producido.

3.3. Evaluación del PBM (Potencial Bioquímico de Metano) generado de la producción de biogás a nivel laboratorio

Para la evaluación del PBM (Potencial Bioquímico de Metano) generado de la producción de biogás a nivel laboratorio de esta tercera fase se comprobó cuál de los tres sistemas con estiércol bovino, ovino y la combinación de ambos, que tiene un mayor rendimiento en la generación de biogás en el tratamiento con melaza y asimismo corroborar los resultados obtenidos con el volumen en las probetas. Cabe mencionar que se prepararon 6 muestras de cada materia prima las cuales también para un mejor control se dividieron en dos Experimentos 1 y 2 y cada uno de estos por triplicado, no obstante, las concentraciones y condiciones serán las mismas, la cantidad de estos biodigestores ayudarán para una mayor cantidad de muestra tanto de biogás como para el siguiente objetivo.

3.3.1. Producción promedio de biogás de estiércol bovino

En la Tabla 71, se muestra detalladamente los resultados del PBM producido en promedio diario del volumen de biogás generado de estiércol bovino por día. Los resultados se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 71. Producción promedio de biogás de estiércol de ganado bovino, tercera fase.

	E1-B-M			E2-B-M		
	Volumen de biogás, MI			Volumen de biogás, MI		
	D1	D2	D3	D1	D2	D3
1	2.50	0.00	0.00	2.00	3.00	4.50
2	3.00	2.00	5.00	3.50	4.00	5.50
3	4.00	3.00	5.50	4.50	5.00	6.50
4	5.00	3.50	6.00	6.00	5.00	7.00
5	6.00	4.00	7.00	7.00	6.50	8.00
6	7.50	5.00	7.50	8.00	7.50	9.50

7	8.00	6.50	8.00	8.00	7.50	11.00
8	8.50	7.50	8.50	8.50	8.00	12.00
9	10.00	8.00	9.50	9.00	9.00	12.50
10	10.50	9.00	10.00	9.50	10.00	13.50
11	11.50	9.67	10.50	10.00	10.50	14.50
12	12.50	10.67	11.50	10.50	11.00	16.00
13	13.50	11.50	13.00	10.50	12.00	17.50
14	15.00	12.50	14.50	11.00	12.50	18.50
15	16.50	14.00	15.00	12.00	13.50	20.00
16	18.00	14.50	15.00	12.50	14.00	21.50
17	19.50	16.00	16.50	13.50	16.00	22.50
18	20.50	17.50	18.50	14.50	18.00	24.00
19	22.00	18.50	20.00	15.50	20.50	25.00
20	22.50	19.50	21.50	17.00	23.00	25.50
21	23.50	21.00	23.00	18.50	26.50	26.50
22	25.00	22.50	24.50	20.50	28.50	27.50
23	26.50	24.00	26.50	22.50	30.00	28.50
24	27.50	25.50	28.00	25.00	31.50	30.50
25	28.50	26.50	30.50	27.50	33.00	31.00
26	31.00	28.00	32.50	29.50	33.50	32.50
27	32.50	29.50	34.00	31.50	35.50	33.50
28	34.50	31.50	35.00	33.00	37.00	35.00
29	37.00	33.50	37.50	34.50	38.00	37.50

30	38.50	36.00	40.00	36.50	39.50	40.50
31	40.00	37.50	41.50	38.50	41.50	42.50
32	41.50	39.50	43.50	39.50	42.50	44.50
33	43.50	41.50	45.00	41.50	44.50	47.50
34	45.00	43.50	47.50	42.50	46.50	50.50
35	46.50	45.50	49.50	45.00	48.00	52.50
36	48.50	47.50	51.50	47.50	49.50	54.50
37	50.00	51.50	53.00	50.00	53.50	56.50
38	52.50	54.50	55.00	52.50	57.00	57.50
39	54.50	57.50	55.00	54.50	58.50	59.50
40	57.50	59.50	57.00	56.50	60.00	61.00
41	60.50	61.00	59.50	58.50	61.50	62.50
42	63.00	62.50	61.50	60.50	63.00	64.00
43	65.00	64.50	63.00	62.00	64.00	65.00
44	66.50	66.00	64.50	63.50	65.00	66.50
45	68.00	67.50	65.50	64.50	66.50	67.00

Fuente: elaboración propia

En la evaluación del PBM (Potencial Bioquímico de Metano) generado de la producción de biogás a nivel laboratorio, en la Tabla 71, se evidenció la producción de biogás durante 45 días, los cuales concuerdan con los días mostradas en otras investigaciones como las de Barrena et al. (30) y durante todo el proceso se tomó la temperatura tres veces al día y se obtuvo un promedio de $29.37 \pm 3^{\circ}\text{C}$. Los resultados muestran que el sistema E1 con melaza produjo un volumen acumulado final promedio de 201 ± 3.97 mL en producción biogás para las tres réplicas y el sistema E2 con melaza produjo 198 ± 3.97 mL de volumen final promedio en producción de biogás.

Estos resultados de ambos promedios obtenidos por los controles por triplicado que se realizaron, evidencian que la preparación de ambos Experimentos tanto 1 y 2, confirman el mismo procedimiento aplicado en ambos, tanto en concentraciones como las condiciones a las que fueron expuestas.

Según la Figura 26, se deduce que el estiércol bovino en la fase de evaluación del PBM alcanzó un volumen final promedio de biogás proporcional al periodo de tiempo en el biodigestor, donde se obtuvo para el tratamiento con E1 con melaza un volumen de 67 ± 1.32 ml y para el tratamiento E2 con la melaza un volumen de 66 ± 1.32 ml de biogás producido dentro en un lapso de 45 días.



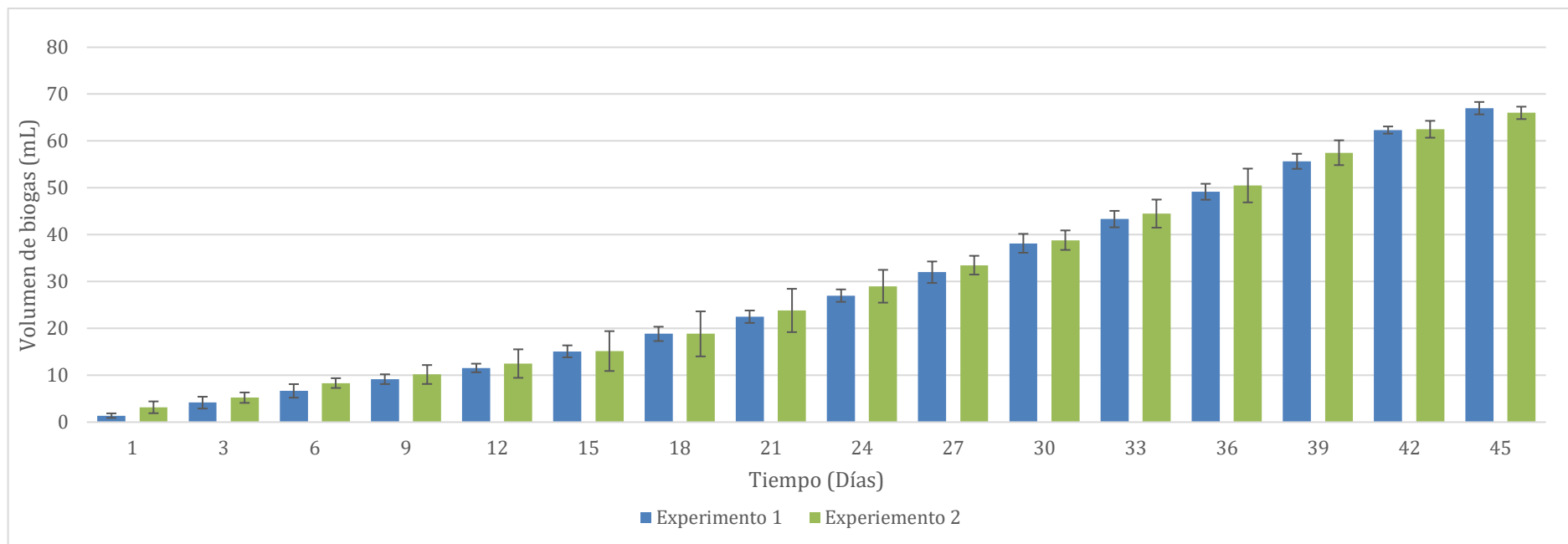


Figura 26. Producción promedio de biogás de estiércol de ganado bovino, tercera fase.

Fuente: elaboración propia

Evaluación de producción óptima del PBM (Potencial Bioquímico de Metano) generado de la producción de biogás a partir de estiércol bovino a nivel laboratorio

○ **Para tratamiento E1-B-M**

Los resultados obtenidos del análisis estadístico (Tabla 72) muestran que al aplicar E1-B-M para producción de biogás determinando que en el día 40 se obtuvo la mayor producción de 58.0 ± 1.32 ml, por otra parte, al emplear los días 10, 20 y 30 se obtuvieron menores porcentajes de producción de biogás de 9.83 ± 0.76 , 21.17 ± 1.53 y 38.17 ± 2.02 mL respectivamente, mientras, en el día 1 solamente se obtuvo 2.1 ± 0.36 mL, según estos análisis podemos determinar que en el día 40 se obtendrá altos porcentajes de producción de biogás de 58 mL.

Tabla 72. Producción promedio de biogás de estiércol de ganado bovino con melaza.

Día	Unidades	Recuento	Promedio \pm DE (ml)	Coefficiente de Variación (%)
1	MI	3	2.1 ± 0.36^a	17.17
10	MI	3	9.83 ± 0.76^b	7.77
20	MI	3	21.17 ± 1.53^c	7.22
30	MI	3	38.17 ± 2.02^d	5.29
40	MI	3	58.0 ± 1.32^e	2.28

*DE indica la desviación estándar entre las mediciones (recuento).

Fuente: elaboración propia

En la prueba de Levene (Tabla 73), se observó una igualdad de varianzas entre los tratamientos debido a que el valor p es ≥ 0.05 indicando que no existe una diferencia estadísticamente significativa, por ello, para evaluar la significancia de los datos se llevó a cabo una prueba de ANOVA (Tabla 74).

Tabla 73. Verificación de varianza Levene para producción óptima de biogás de estiércol de ganado bovino con melaza.

	Prueba	Valor-p
Levene	0.6922	0.6140

*El valor – p indica el nivel de significancia con el cual se toma la decisión del análisis.

Fuente: elaboración propia

Tabla 74. Análisis de varianza para la producción óptima de biogás de estiércol ganado bovino con melaza.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-p
Entre grupos	6083.56	4	1520.89	856.36	0.0000
Intra grupos	17.76	10	1.776		
Total (Corr.)	6101.32	14			

*El valor – p indica el nivel de significancia con el cual se toma la decisión del análisis.

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 74, debido a que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 5 variables con un nivel del 95.0% de confianza.

○ **Para el tratamiento E2-B-M**

Los resultados obtenidos del análisis estadístico (ver Tabla 75) muestran que al aplicar estiércol de ganado bovino con melaza para producción de biogás determinando que en el día 40 se obtuvo la mayor producción de 59.17 ± 2.36 mL, por otra parte, al emplear los días 10,20 y 30 se obtuvieron menores porcentajes de producción de biogás de 11.0 ± 2.18 , 21.83 ± 4.37 y 38.83 ± 2.08 mL respectivamente, mientras, en el día 1 solamente se obtuvo 3.17 ± 1.26 mL, según estos análisis podemos determinar que en el día 40 se obtendrá altos porcentajes de producción de biogás de 59.17 mL.

Tabla 75. Producción promedio de biogás E2-B-M en una tercera fase.

Día	Unidades	Recuento	Promedio ± DE (ml)	Coefficiente de Variación (%)
1	MI	3	3.17 ± 1.26 ^a	39.74
10	MI	3	11.0 ± 2.18 ^b	19.81
20	MI	3	21.83 ± 4.37 ^c	20.00
30	MI	3	38.83 ± 2.08 ^d	5.36
40	MI	3	59.17 ± 2.36 ^e	3.99

*DE indica la desviación estándar entre las mediciones (recuento). Fuente: elaboración propia

En la prueba de Levene (Tabla 76), se observó una igualdad de varianzas entre los tratamientos debido a que el valor p es ≥ 0.05 indicando que no existe una diferencia estadísticamente significativa, por lo cual, para evaluar la significancia de los datos se llevó a cabo una prueba de ANOVA (Tabla 77).

Tabla 76. Verificación de varianza Levene para producción óptima de biogás de estiércol de ganado bovino.

	Prueba	Valor-p
Levene	0.4491	0.7711

*El valor – p indica el nivel de significancia con el cual se toma la decisión del análisis.

Fuente: elaboración propia

Tabla 77. Análisis de varianza para la producción óptima de biogás de estiércol de ganado bovino.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-p
Entre grupos	6075.73	4	1518.93	214.94	0.0000
Intra grupos	70.6667	10	7.06667		
Total (Corr.)	6143.4	14			

*El valor – p indica el nivel de significancia con el cual se toma la decisión del análisis.

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 77, debido a que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 5 variables con un nivel del 95.0% de confianza.

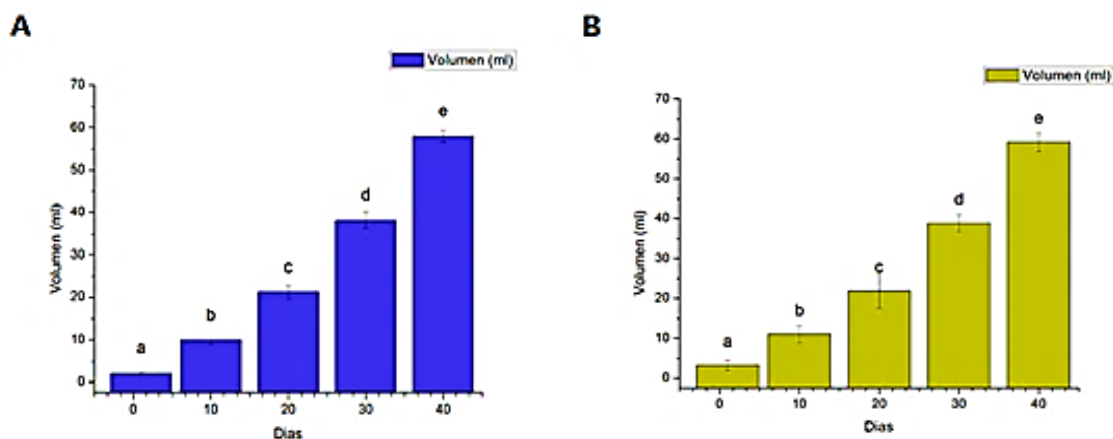


Figura 27. Producción promedio de biogás de E1-B-M (A) vs E2-B-M (B) en función a días transcurridos.

Fuente: elaboración propia

En la Figura 27, del lado A del gráfico podemos observar que los tratamientos presentaron una diferencia significativa, así mismo, se puede determinar que, al emplear cualquiera de los días 10, 20 y 30 se tendrá menores porcentajes de producción, por lo que, podríamos optar por el día 40 por presentar mayor producción de biogás (mL).

En el lado B del gráfico, podemos observar que los tratamientos presentaron una diferencia significativa, así mismo, se puede determinar que, al emplear cualquiera de los días 10, 20 y 30 se tendrá menores porcentajes de producción, por lo que, podríamos optar por el día 40 por presentar mayor producción de biogás (mL).

3.3.2. Producción promedio de biogás de estiércol ovino

En la Tabla 78, se muestra detalladamente los resultados del PBM producido en promedio diario del volumen de biogás generado de estiércol ovino por día. Los resultados se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 78. Producción promedio de biogás de estiércol de ganado ovino.

	E1-O-M			E2-O-M		
	Volumen de biogás, Ml			Volumen de biogás, mL		
	E1	E2	E3	E1	E2	E3
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	2.50	2.00	0.00	1.00	4.00	3.50
3	3.00	3.00	1.50	1.50	4.00	3.50
4	3.50	3.00	2.00	2.00	5.00	5.50
5	4.00	3.00	2.50	2.50	5.00	6.00
6	4.50	4.00	3.00	3.00	6.50	7.00
7	5.00	4.00	4.00	4.00	6.50	8.50
8	6.00	5.50	5.00	5.00	7.00	9.50
9	7.50	5.50	6.50	6.50	8.50	10.00
10	8.50	6.50	7.50	7.50	9.50	11.00
11	9.00	7.00	8.50	8.50	10.50	12.50
12	10.50	8.00	10.00	10.00	12.00	13.50
13	11.00	9.50	11.00	11.50	12.50	15.00
14	12.00	10.50	12.50	12.00	13.50	16.00
15	13.00	12.50	13.50	13.50	14.50	17.00
16	14.50	13.50	15.50	14.50	16.00	18.00
17	16.50	15.00	17.50	15.50	17.50	19.50
18	18.00	17.50	19.50	18.00	21.50	20.50
19	20.50	20.50	21.50	21.00	23.50	22.00

20	22.50	22.50	23.00	23.00	26.50	23.50
21	23.50	24.50	25.50	27.50	28.00	25.50
22	26.50	26.50	27.50	29.50	29.50	27.50
23	31.50	28.00	30.00	31.50	32.00	30.50
24	34.50	29.00	32.50	33.00	33.50	34.00
25	36.50	31.50	34.50	34.50	35.00	35.50
26	38.50	32.50	36.50	37.50	36.50	37.00
27	39.50	34.50	38.00	39.50	38.00	38.50
28	41.50	36.50	39.00	40.50	39.50	39.50
29	43.00	38.00	40.50	42.00	40.00	41.00
30	44.00	39.50	41.50	43.50	41.50	42.00
31	45.50	40.00	43.00	45.00	42.00	43.50
32	46.50	41.00	44.00	46.50	43.50	45.00
33	47.00	42.50	45.50	48.00	45.00	46.50
34	48.50	43.50	46.00	49.50	46.00	47.50
35	49.00	45.00	47.50	50.00	47.50	48.50
36	50.50	46.00	48.00	51.00	48.00	49.00
37	51.50	47.00	49.50	52.50	49.50	50.00
38	52.50	48.50	50.00	53.50	51.50	51.00
39	53.00	49.00	51.00	55.00	52.00	52.50
40	54.50	50.00	52.50	56.00	53.00	54.00
41	55.00	51.00	53.00	57.50	54.50	55.50
42	56.50	52.50	54.00	58.50	55.00	56.00

43	57.00	53.00	55.00	59.00	56.50	57.50
44	58.50	54.00	56.50	60.00	57.00	58.50
45	59.50	55.00	57.50	61.00	58.00	59.50

Fuente: elaboración propia

Para la evaluación del PBM (Potencial Bioquímico de Metano) generado de la producción de biogás a nivel laboratorio, como se muestra en la Tabla 78, se evidenció la producción de biogás durante 45 días, los cuales concuerdan con los días mostradas en otras investigaciones como las de Barrena et al. (30) y durante todo el proceso se tomó la temperatura tres veces al día y se obtuvo un promedio de $29.37 \pm 3^{\circ}\text{C}$. Los resultados muestran que el sistema E1-O-M produjo un volumen acumulado final promedio de 172 ± 6.76 mL en producción biogás para los tres controles. Por el otro lado el sistema E2-O-M produjo 178.5 ± 4.50 mL de volumen final promedio en producción de biogás. Esta diferencia de ambos promedios obtenidos por los controles por triplicado que se realizaron, muestra que E4 tiene mayor rendimiento de biogás producido.

Según la Figura 28, se deduce que el estiércol ovino en la fase de evaluación del PBM alcanzó un volumen final promedio de biogás proporcional al periodo de tiempo en el biodigestor, donde se obtuvo para el tratamiento con E1 con melaza un volumen de 57.33 ± 2.25 mL y para el tratamiento E2 con la melaza un volumen de 59.5 ± 1.5 mL de biogás producido dentro en un lapso de 45 días.

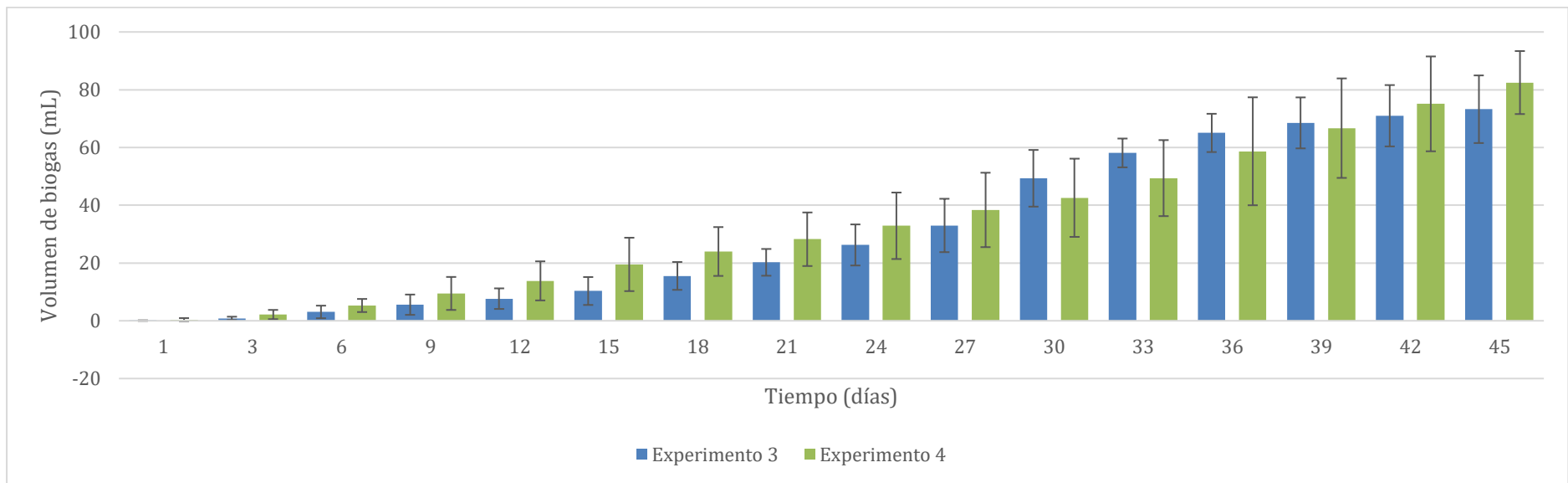


Figura 28. Producción promedio de biogás de estiércol de ganado ovino, tercera fase.

Fuente: elaboración propia

Evaluación del PBM generado de la producción de biogás a nivel laboratorio de la tercera fase

○ **Tratamiento E1-O-M**

Los resultados según análisis estadístico de la Tabla 79, muestran que al aplicar E1-O-M en esta tercera fase con melaza para la producción de biogás determinando que en el día 40 se obtuvo la mayor producción de 52.33 ± 2.25 mL, por otra parte, al emplear los días 10,20 y 30 se obtuvieron menores porcentajes de producción de biogás de 7.5 ± 1.0 , 22.83 ± 0.29 y 41.67 ± 2.25 mL respectivamente, mientras, en el día 1 no se obtuvo producción de biogás, según estos análisis podemos determinar que en el día 40 se obtendrá altos porcentajes de producción de biogás de 52.33 mL.

Tabla 79. Producción promedio de biogás de estiércol de ganado ovino con E1 – O-M

Día	Unidades	Recuento	Promedio \pm DE (ml)	Coefficiente de Variación (%)
1	MI	3	0 ^a	0
10	MI	3	7.5 ± 1.0 ^b	13.33
20	MI	3	22.83 ± 0.29 ^c	1.26
30	MI	3	41.67 ± 2.25 ^d	5.41
40	MI	3	52.33 ± 2.25 ^e	4.31

*DE indica la desviación estándar entre las mediciones (recuento).

Fuente: elaboración propia

En la prueba de Levene (Tabla 80), se observó una igualdad de varianzas entre los tratamientos debido a que el valor p es ≥ 0.05 indicando que no existe una diferencia estadísticamente significativa, por lo cual, para evaluar la significancia de los datos se llevó a cabo una prueba de ANOVA (Tabla 81).

Tabla 80. Verificación de varianza Levene para producción óptima de biogás de estiércol de ganado ovino E1 – O-M

	Prueba	Valor-p
Levene	1.9468	0.1791

*El valor – p indica el nivel de significancia con el cual se toma la decisión del análisis.

Fuente: elaboración propia

Tabla 81. Análisis de varianza para la producción óptima de biogás de estiércol de ganado ovino.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-p
Entre grupos	5882.23	4	1470.56	653.58	0.0000
Intra grupos	22.5	10	2.25		
Total (Corr.)	5904.73	14			

*El valor – p indica el nivel de significancia con el cual se toma la decisión del análisis.

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 81, se observa que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05 reportando existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 5 variables con un nivel del 95.0% de confianza.

○ **Tratamiento E2-O-M**

Los resultados según análisis estadístico (Tabla 82), muestran que al aplicar al aplicar E2-O-M para producción de biogás, se determinó que en el día 40 se obtuvo la mayor producción de 54.33 ± 1.53 mL, por otra parte, al emplear los días 10, 20 y 30 se obtuvieron menores porcentajes de producción de biogás de 9.33 ± 1.76 , 24.33 ± 1.89 y 42.33 ± 1.04 mL respectivamente, mientras, en el día 1 no se obtuvo producción de biogás, según estos análisis podemos determinar en el día 40 se obtendrá altos porcentajes de producción de biogás de 54.33 mL.

Tabla 82. Producción promedio de biogás de estiércol de ganado ovino con E2-O-M

Día	Unidades	Recuento	Promedio ± DE (ml)	Coefficiente de Variación (%)
1	Ml	3	0 ^a	0
10	Ml	3	9.33 ± 1.76 ^a	18.81
20	Ml	3	24.33 ± 1.89 ^a	7.78
30	Ml	3	42.33 ± 1.04 ^b	2.46
40	M	3	54.33 ± 1.53 ^b	2.81

*DE indica la desviación estándar entre las mediciones.

Fuente: elaboración propia

En la prueba de Levene (Tabla 83), se observó una igualdad de varianzas entre los tratamientos debido a que el valor p es ≥ 0.05 indicando que no existe una diferencia estadísticamente significativa, por lo cual, para evaluar la significancia de los datos se llevó a cabo una prueba de ANOVA (Tabla 84).

Tabla 83. Verificación de varianza Levene para producción óptima de biogás de estiércol de ganado ovino con E2-O-M

	Prueba	Valor-p
Levene	0.6905	0.6151

*El valor – p indica el nivel de significancia con el cual se toma la decisión del análisis.

Fuente: elaboración propia

Tabla 84. Análisis de varianza para la producción óptima de biogás de estiércol de ganado ovino.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-p
Entre grupos	6078.23	4	1519.57	753.50	0.0000
Intra grupos	20.1667	10	2.01667		
Total (Corr.)	6098.43	14			

*El valor $-p$ indica el nivel de significancia con el cual se toma la decisión del análisis.

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 84, se observa que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 5 variables con un nivel del 95.0% de confianza.

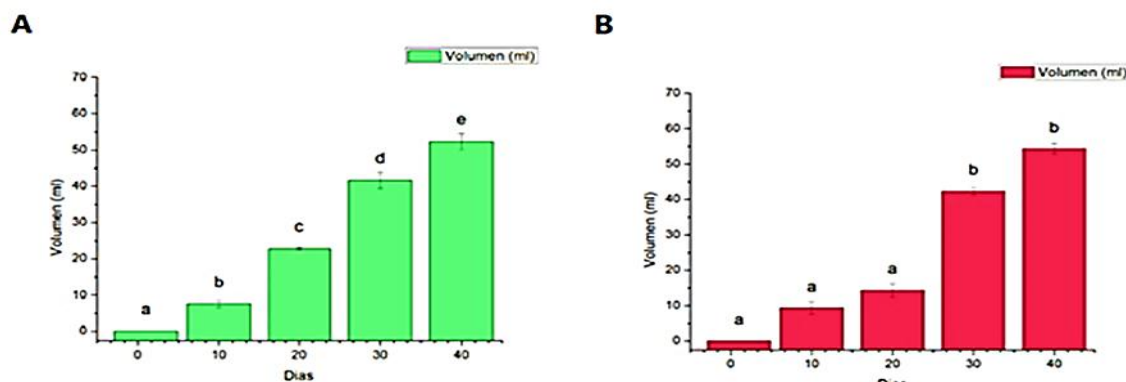


Figura 29. Producción promedio de biogás de E1-O-M (A) vs E2-O-M (B) en función a diferentes días

Fuente: elaboración propia

En la Figura 29, del lado A del gráfico, podemos observar que los tratamientos presentaron una diferencia significativa, así mismo, se puede determinar que, al emplear cualquiera de los días 10,20 y 30 se tendrá menores porcentajes de producción, por lo que, podríamos optar por el día 40 por presentar mayor producción de biogás (ml).

En el lado B del gráfico, podemos observar que los tratamientos presentaron una diferencia significativa, así mismo, se puede determinar que, al emplear cualquiera de los días 10,20 y 30 se tendrá menores porcentajes de producción, por lo que, podríamos optar por el día 40 por presentar mayor producción de biogás (ml).

3.3.3. Producción promedio de biogás de estiércol Combinado

En la Tabla 85, se muestra detalladamente los resultados del PBM producido en promedio diario del volumen de biogás generado a partir de estiércol combinado por día. Los resultados se muestran en la siguiente Tabla 85.

Tabla 85. Producción promedio de biogás de estiércol combinado.

	E1-C-M			E2-C-M		
	Volumen de biogás, mL			Volumen de biogás, MI		
	D1	D2	D3	D1	D2	D3
1	2.50	3.00	0.00	3.50	5.00	5.50
2	4.00	4.50	5.00	4.50	6.50	7.00
3	5.50	5.00	6.00	6.00	7.50	8.00
4	7.50	6.50	7.00	6.50	8.50	9.50
5	9.50	7.00	8.50	8.00	10.00	11.00
6	11.50	7.50	9.50	9.50	11.50	12.00
7	12.50	8.50	11.00	10.50	12.50	13.00
8	14.00	9.50	12.00	12.50	15.00	14.50
9	15.50	11.00	13.50	13.50	16.50	16.00
10	16.50	12.50	14.50	15.50	18.00	17.50
11	17.50	14.00	15.00	17.50	19.50	20.00
12	20.00	15.50	16.50	19.00	22.00	21.50
13	21.50	17.50	17.50	21.00	23.50	23.00
14	22.00	19.50	18.50	22.50	24.50	25.00
15	23.00	21.50	20.50	24.50	25.50	26.50
16	24.50	23.50	22.00	27.00	28.50	27.50
17	26.00	24.50	23.50	28.50	30.50	29.50
18	27.50	27.50	25.50	29.50	31.50	31.50
19	29.50	29.50	27.50	30.50	32.00	32.50

20	31.50	32.00	30.00	31.50	33.50	34.00
21	33.50	34.00	31.50	33.00	35.00	34.50
22	35.00	35.50	33.50	34.00	35.50	36.00
23	36.50	37.50	35.50	35.00	36.00	37.00
24	38.50	39.50	38.00	37.50	36.50	38.50
25	40.00	41.50	40.00	39.00	37.00	40.00
26	41.00	43.50	42.00	40.50	38.00	41.50
27	42.50	45.00	44.00	42.00	39.50	43.00
28	43.50	46.50	46.00	43.50	40.00	44.50
29	45.00	47.50	47.50	44.50	41.50	46.50
30	46.50	50.00	48.50	45.50	43.50	49.00
31	48.00	51.50	49.00	46.00	45.00	50.00
32	49.50	53.00	50.00	48.50	47.50	51.50
33	51.50	54.00	51.50	51.00	49.50	53.00
34	53.00	55.00	52.00	52.50	51.50	54.50
35	55.00	56.00	52.50	54.00	52.50	56.00
36	56.50	57.00	52.50	55.00	53.50	56.50
37	58.00	57.50	53.00	55.50	54.00	57.50
38	60.00	58.00	54.00	56.00	55.00	59.00
39	60.50	58.50	55.00	56.50	56.00	60.00
40	61.00	60.00	55.50	56.50	56.50	60.50
41	61.00	61.00	56.00	56.50	57.00	60.50
42	61.50	62.00	57.00	56.50	57.50	61.00

43	61.50	62.50	57.50	57.00	58.00	61.00
44	61.50	63.00	58.00	58.00	58.50	61.50
45	61.50	63.50	59.00	59.50	58.50	62.00

Fuente: elaboración propia

Para la evaluación del PBM (Potencial Bioquímico de Metano) generado de la producción de biogás a nivel laboratorio, Como se muestra en la Tabla 85, se evidenció la producción de biogás durante 45 días, los cuales concuerdan con los días mostradas en otras investigaciones como las de Barrena et al. (30) y durante todo el proceso se tomó la temperatura tres veces al día y se obtuvo un promedio de $29.37 \pm 3^{\circ}\text{C}$.

Los resultados muestran que el E1-C-M con melaza produjo un volumen acumulado final promedio de 184 ± 6.76 mL en producción biogás de las réplicas y el sistema E2-C-M con melaza produjo 180 ± 5.41 mL de volumen final promedio en producción de biogás. Esta diferencia de ambos promedios obtenidos por los controles por triplicado evidencia que E6 tiene mayor rendimiento de biogás producido.

Según el Figura 30, se deduce que el estiércol combinado en la fase de evaluación del PBM alcanzó un volumen final promedio proporcional al periodo de tiempo en el biodigestor, donde se obtuvo para el E1-C-M produjo un volumen de 61.33 ± 2.25 mL y para el tratamiento E2-C-M produjo un volumen de 60 ± 1.80 mL de biogás producido dentro en un lapso de 45 días.

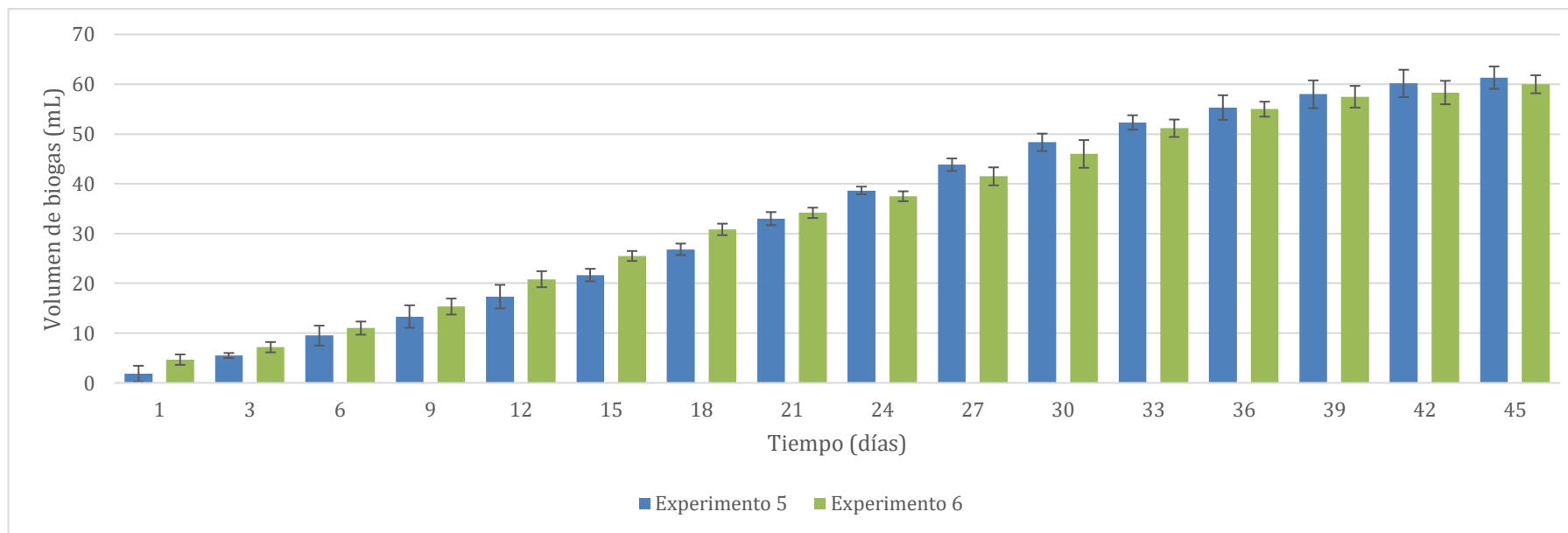


Figura 30. Producción promedio de biogás de estiércol combinado tercera fase.

Fuente: elaboración propia

3.3.4. Evaluación del PBM generado de la producción de biogás a nivel laboratorio

○ Tratamiento E1-C-M

Los resultados obtenidos por análisis estadístico (Tabla 86), muestran que al aplicar estiércol de ganado combinado con melaza para producción de biogás, se determinó que en el día 40 se obtuvo la mayor producción de 58.83 ± 2.93 mL, por otra parte, al emplear los días 10, 20 y 30 se obtuvieron menores porcentajes de producción de biogás de 14.5 ± 2.0 , 31.17 ± 1.04 y 48.33 ± 1.76 mL respectivamente, mientras, en el día 1 solamente se obtuvo 2.53 ± 0.45 mL, según estos análisis podemos determinar que E1 en el día 40 se obtendrá altos porcentajes de producción de biogás de 58.83 mL.

Tabla 86. Producción promedio de biogás de estiércol de ganado combinado con melaza en una tercera fase.

Día	Unidades	Recuento	Promedio \pm DE (ml)	Coefficiente de variación (%)
1	Ml	3	2.53 ± 0.45^a	17.80
10	Ml	3	14.5 ± 2.0^b	13.79
20	Ml	3	31.17 ± 1.04^c	3.34
30	Ml	3	48.33 ± 1.76^d	3.63
40	Ml	3	58.83 ± 2.93^e	4.98

Prueba	Estadístico	Valor – p	Interpretación
SW	0.8380	0.1356	DN
LEV	1.3001	0.6624	NS
ANOVA	0.0002	0.0000	S

*DN: Distribución normal $p \geq 0.05$ NS: No significativo $p \geq 0.05$ S: significativo $p < 0.05$
^{a b c d} significativo.

Fuente: elaboración propia

En la prueba de Levene (Tabla 87), se observó una igualdad de varianzas entre los tratamientos debido a que el valor p es ≥ 0.05 indicando que no existe una diferencia estadísticamente significativa, por lo cual, para evaluar la significancia de los datos se llevó a cabo una prueba de ANOVA (Tabla 88).

Tabla 87. Verificación de varianza Levene para producción óptima de biogás de estiércol de ganado combinado con melaza tercera fase

	Prueba	Valor-p
Levene	0.6138	0.6624

*El valor – p indica el nivel de significancia con el cual se toma la decisión del análisis.

Fuente: elaboración propia

Tabla 88. Análisis de varianza para la producción óptima de biogás de estiércol de ganado combinado.

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Razón – F	Valor -p
Entre grupos	6473.22	4	1618.31	477.28	0.0000
Intra grupos	33.9067	10	3.39067		
Total (corregido)	6507-13	14			

*El valor – p indica el nivel de significancia con el cual se toma la decisión del análisis.

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 88, se observa que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05 reportando existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 5 variables con un nivel del 95.0% de confianza.

○ **Tratamiento E2-C-M**

Los resultados obtenidos por análisis estadístico (Tabla 89), muestran que al aplicar estiércol de ganado combinado en E1 para producción de biogás, se determinó que en el día 40 se obtuvo la mayor producción de 57.83 ± 2.31 mL, por otra parte, al emplear los días 10,20 y 30 se obtuvieron menores porcentajes de producción de biogás de 17 ± 1.32 , 33.0 ± 1.32 y 46.0 ± 2.78 mL respectivamente, mientras ,en el día 1 solamente se obtuvo 4.67 ± 1.04 mL, según estos análisis podemos determinar que en el día 40 se obtendrá altos porcentajes de producción de biogás de 57.83 mL.

Tabla 89. Producción promedio de biogás de estiércol de ganado combinado con melaza.

Día	Unidades	Recuento	Promedio ± DE (ml)	Coefficiente de Variación (%)
1	Ml	3	4.67 ± 1.04 ^a	22.30
10	Ml	3	17 ± 1.32 ^{ab}	7.78
20	Ml	3	33.0 ± 1.32 ^{ab}	4.01
30	Ml	3	46.0 ± 2.78 ^b	6.05
40	M	3	57.83 ± 2.31 ^c	3.99

*DE indica la desviación estándar entre las mediciones. Fuente: elaboración propia

La prueba de Levene (Tabla 90), se observó una igualdad de varianzas entre los tratamientos debido a que el valor p es ≥ 0.05 indicando que no existe una diferencia estadísticamente significativa, para lo cual, para evaluar la significancia de los datos se llevó a cabo una prueba de ANOVA (Tabla 91).

Tabla 90. Verificación de varianza Levene para producción óptima de biogás de estiércol de ganado combinado con melaza

	Prueba	Valor-p
Levene	0.3097	0.8651

*El valor – p indica el nivel de significancia con el cual se toma la decisión del análisis.

Fuente: elaboración propia

Tabla 91. Análisis de varianza para la producción óptima de biogás de estiércol de ganado combinado.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-p
Entre grupos	5508.07	4	1377.02	389.72	0.0000
Intra grupos	35.3333	10	3.53333		
Total (Corr.)	5543.4	14			

*El valor – p indica el nivel de significancia con el cual se toma la decisión del análisis.

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 91, se observa que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05 reportando existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 5 variables con un nivel del 95.0% de confianza.

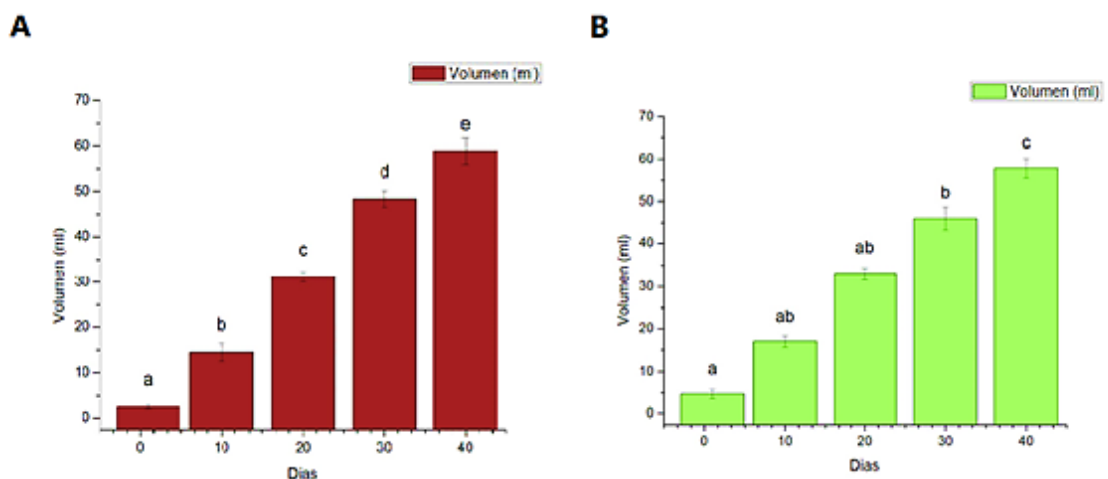


Figura 31. Producción promedio de biogás de E1-C-M (A) vs E2-C-M (B) en función a días transcurridos.

Fuente: elaboración propia

En la Figura 31, del lado A del gráfico, podemos observar que los tratamientos presentaron una diferencia significativa, así mismo, se puede determinar que, al emplear cualquiera de los días 10, 20 y 30 se tendrá menores porcentajes de producción, por lo que, podríamos optar por el día 40 por presentar mayor producción de biogás (mL).

En el lado B de la Figura, podemos observar que los tratamientos presentaron una diferencia significativa, así mismo, se puede determinar que, al emplear cualquiera de los días 10, 20 y 30 se tendrá menores porcentajes de producción, por lo que, podríamos optar por el día 40 por presentar mayor producción de biogás (mL).

La producción máxima de biogás en la tercera fase en donde se evalúa la influencia de melaza en la generación de biogás. Nos sirvió para poder comparar, almacenar y producir, tanto biogás para proceder a la determinación del potencial bioquímica de Metano.

Los resultados muestran que el sistema E1 con melaza produjo un volumen acumulado final promedio de 201 ± 3.97 mL en producción biogás para las tres réplicas y el sistema E2 con melaza produjo 198 ± 3.97 mL de volumen final promedio en producción de biogás. Estos

resultados de ambos promedios obtenidos por los controles por triplicado que se realizaron, evidencian que la preparación de ambos Experimentos tanto 1 y 2, confirman el mismo procedimiento aplicado en ambos, tanto en concentraciones como las condiciones a las que fueron expuestas, teniendo como resultado, valores finales muy parecidos. A continuación, se muestra los resultados obtenidos de calidad del PBM realizado a las muestras.

3.4. Evaluación de la calidad de biogás.

En la Tabla 92, se muestra la calidad del Biogás en función al volumen generado de metano en nuestro biogás, los resultados fueron obtenidos después de emplear el equipo Biogás 5000 GEOTECH.

Tabla 92. Resultado de análisis en el equipo Biogás 5000 GEOTECH.

BIOGÁS	CH4	CO2	O2	H2O	H2S	BAL
Estiércol Bovino	50.50%	0.10%	20.10%	11 ppm	400ppm	20.70%
Estiércol Ovino	10.50%	0.10%	22.30%	12ppm	120ppm	21.60%
Combinado	61%	0.10%	20.30%	9ppm	600ppm	21.40%

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 92, se observan los resultados obtenidos del análisis de biogás generado acumulado en las bolsas de orina. La cantidad de metano encontrado nos indica que la combinación de estiércol bovino, ovino y rastrojos, tienen el porcentaje más alto de metano y la de estiércol ovino el porcentaje más bajo en cuanto a presencia de metano en el biogás.

3.4.1. Comparación de la generación de % de metano de la producción de biogás de diferentes de tipos de estiércol

Tabla 93. Porcentaje de generación de metano de la producción de biogás de diferentes de tipos de estiércol

Tipos de estiércol	Unidades	Recuento	Promedio ± DE (% de CH ₄)	Coefficiente de Variación (%)
Bovino	%	3	48.8 ± 1.15 ^a	2.36
Combinado	%	3	60.17 ± 0.91 ^b	1.51
Ovino	%	3	27.17 ± 3.24 ^c	11.1
Prueba	Estadístico	Valor-p	Interpretación	
SW	0.8542	0.0828	DN	
LEV	5.6844	0.0412	S	
ANOVA	200	0	S	

*DN: Distribución normal $p \geq 0.05$ S: significativo $p < 0.05$ ^{a b c} significativo.

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 93, se puede observar los resultados obtenidos al trabajar con diversos tipos de estiércol para la generación de metano en el proceso de producción de biogás, al emplear el E1-C-M se obtiene un mayor % de metano de 60.17 ± 0.97 %, por otra parte, al aplicar el E1-B-M un % de metano de 48.8 ± 1.15 , mientras, al emplear el E1-O-M solamente se obtuvo 27.17 ± 3.24 %, según estos análisis podemos determinar que al emplear el tipo de E1-C-M se obtendrá altos porcentajes de generación de metano de 60.17%.

En la prueba de Levene (Tabla 94), se observó una diferencia de varianzas entre los tratamientos debido a que el valor p es ≥ 0.05 indicando que existe una diferencia estadísticamente significativa, finalmente, para evaluar la significancia de los datos se llevó a cabo una prueba de ANOVA (Tabla 95).

Tabla 94. Verificación de varianza Levene para generación de metano con la aplicación del estiércol de ganado bovino, combinado y ovino

	Prueba	Valor-p
Levene	1.9468	0.1791

*El valor – p indica el nivel de significancia con el cual se toma la decisión del análisis.

Fuente: elaboración propia

Tabla 95. Análisis de varianza para la generación de metano con la aplicación del estiércol de ganado bovino, combinado y ovino en la producción de biogás

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor - p
Entre grupos	1686.2	2	843.101	200.00	0.0000
Intra grupos	25.2933	6	4.21556		
Total (Corr.)	1711.5	8			

*El valor – p indica el nivel de significancia con el cual se toma la decisión del análisis.

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 95, se observa que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05 reportando existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 3 variables con un nivel del 95.0% de confianza.



Figura 32. Producción porcentual de metano, con estiércol bovino, ovino, combinado más los rastrojos de maíz.

Fuente: elaboración propia

En la Figura 32, se muestra la producción porcentual de generación de metano, con estiércol bovino, ovino, combinado más los rastrojos de maíz.

Respecto a la cantidad de metano obtenido, la combinación de estiércol bovino, ovino y rastrojos, tienen el porcentaje más alto, comprobando así resultados obtenidos en otras investigaciones como las de Briseño et al. (48), que concluye que la codigestión de sustratos a nivel laboratorio, puede brindarnos porcentajes mayores al 60% y que el uso único de un sustrato nos podrían brindar valores menores al 30% en porcentaje de metano.

Por su lado Valdez et al. (49), en su investigación observa porcentajes de metano que llegan a un mínimo de 32.55%, 31.45% y 30.72%, citando Magaña et al. (26); Valdez et al. (49) concuerda con ambos investigadores indicando que el biogás debe tener un porcentaje mínimo de metano de 40% para que tenga las propiedades caloríficas necesarias para una buena combustión, recalcando así mismo que dicho porcentaje obtenido puede mantenerse durante la 2da, 3ra y 4ta semana donde la producción de gases se acumula.

Por lo ya mencionado bibliográficamente podemos determinar que tanto el biogás generado por estiércol bovino con 50.50% y la combinación de todos los sustratos con 61%, de metano son considerados como aceptables.

Por otro lado, el uso de estiércol ovino con 10.50% de metano, según otras investigaciones con el uso de este como único sustrato, no serían considerados como de buena combustión determinando de mala calidad de este, por el porcentaje de metano brindado.

3.5. Determinar la calidad del biol obtenido mediante ensayos de germinación.

Para la determinación de la calidad del biol obtenido de la digestión anaeróbica de los biodigestores con mayor rendimiento a base de estiércol bovino, ovino y una fusión de ellos que denominamos combinado. Se procedió a evaluar mediante ensayos de germinación y altura de la planta, donde se evaluó el crecimiento de las semillas de *Lactuca Sativa* a través de tratamientos con biol (T1=5% y T2=10%) y un testigo (T0) en un periodo de 35 días.

A continuación, se muestran sus resultados detallados en las Tablas 96, 115, 134 y 153 (control), donde el promedio de germinación y altura de la planta *Lactuca Sativa* son nuestros indicadores del efecto de este biofertilizante orgánico.

Tabla 96. Producción promedio de germinación y altura de la planta de *Lactuca Sativa*, con Biol Bovino.

BIOL BOVINO									
TRATAMIENTOS									
Tiempo (Días)	T1-B					T2-B			
	5%					10%			
	% Germinación		Altura		Promedio de altura	%Germinación		Altura	
%	DS	DS	DS	%		DS	DS	DS	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	16.66	5.7735	0.1166	0.0288	20	0	0.15	0.02	
10	33.333	5.773	0.363	0.0152	43.333	5.773	0.57	0.0458	
15	60.000	10.000	0.830	0.0953	60.00	10.00	1.22	0.2080	
20	83.333	5.773	1.5333	0.0404	86.666	5.773	2.033	0.1800	
25	76.666	5.773	2.323	0.1457	83.333	5.773	3.21	0.4636	
30	76.666	5.773	3.3466	0.292	83.333	5.773	4.1633	0.4104	
35	76.666	5.773	4.5033	0.423	83.333	5.775	5.7266	0.540	

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 96, se muestra detalladamente las características iniciales de germinación y altura de la planta de *Lactuca Sativa* con tratamientos para biol bovino, en el tratamiento 1 (T1) al 5% se evidenció desde el décimo día un 33.33 % de germinación y una altura de la planta promedio de 0.36 cm, alcanzando hasta el día 35 un 76.7 % de germinación y una altura promedio de 4.5 cm. En el tratamiento 2 (T2) al 10% se evidenció desde el décimo día un 43.3% de germinación y una altura promedio de 0.57 cm, alcanzando hasta el día 35 un 83.3 % de germinación y una altura promedio de 5.73 cm.

Según la Figura 33, se deduce que el biol bovino alcanzó un % de germinación promedio proporcional al periodo de tiempo de siembra, donde para el tratamiento 1 con 5% de biol

se obtuvo el 76.67 ± 5.77 % de germinación y para el tratamiento 2 con 10% de biol se obtuvo 83.33 ± 5.77 % de semillas germinadas de *Lactuca Sativa* dentro en un lapso de 35 días.

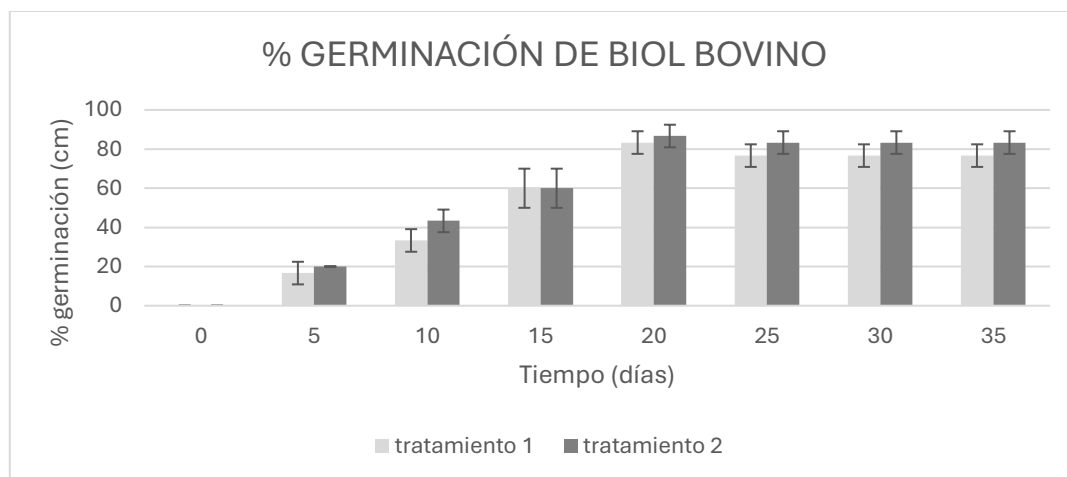


Figura 33. Germinación de *Lactuca Sativa* con biol bovino.

Fuente: elaboración propia

Según la Figura 34, se deduce que el biol bovino consiguió una altura promedio proporcional con el periodo de tiempo de siembra, donde se obtuvo que para el tratamiento 1 con 5% de biol se alcanzó la altura de 4.50 ± 0.42 cm y para el tratamiento 2 con 10% de biol se alcanzó 5.73 ± 0.54 cm de altura de *Lactuca Sativa* dentro en un lapso de 35 días.

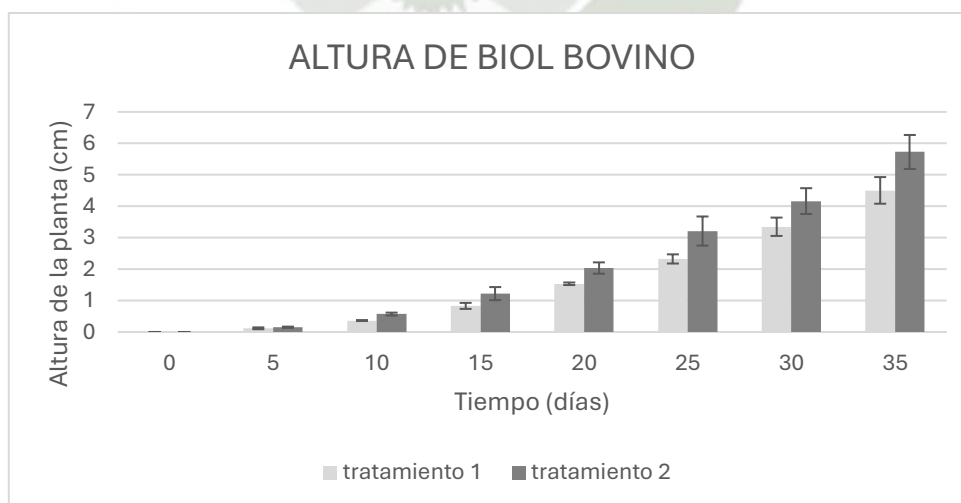


Figura 34. Producción promedio de altura de la planta *Lactuca Sativa* con Biol Bovino.

Fuente: elaboración propia

3.5.1. Determinación del % de germinación y altura promedio de semillas de *Lactuca Sativa* empleando biol bovino al 5% y al 10%

- Tratamiento al 5% - Germinación

En la Tabla 97, se puede observar los resultados obtenidos al emplear biol bovino a una concentración al 5% para la germinación de semillas de *Lactuca Sativa* determinando que en el día 20 se obtuvo el mayor % de germinación de 83.33 ± 5.77 %, por otra parte, en los días 30 y 35 se obtuvieron menores porcentajes de germinación del 76.67 ± 5.77 % para ambos, mientras, en el día 1 no se observó germinación y en el día 10 se obtuvo el menor porcentaje de germinación de 33.33 ± 5.77 %, según estos análisis podemos determinar que en el día 20 se obtendrá altos porcentajes de germinación de semillas de *Lactuca Sativa* del 83%.

Tabla 97. Porcentaje de germinación promedio en semillas de *Lactuca Sativa* empleando biol bovino al 5%.

Día	Recuento	Promedio \pm DE(%)	Coefficiente de Variación (%)
1	3	0 ^a	0
10	3	33.33 ± 5.77 ^b	17.32
20	3	83.33 ± 5.77 ^c	6.93
30	3	76.67 ± 5.77 ^c	7.53
35	3	76.67 ± 5.77 ^c	7.53

*DE indica la desviación estándar entre las mediciones.

Fuente: elaboración propia

En la prueba de normalidad (Tabla 98), se observó diferencias estadísticamente significativas en la variable entre los tratamientos debido a que el valor $p < 0.05$ indicando que la variable no sigue un comportamiento normal, por lo cual, para evaluar la significancia de los datos se llevó a cabo una prueba de no paramétrica Kruskal – Wallis (Tabla 99).

Tabla 98. Prueba de normalidad Shapiro – Wilk para la germinación promedio en semillas de *Lactuca Sativa* empleando biol bovino al 5%

Prueba	Estadístico	Valor-p
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0.7982	0.0035

*El valor – p indica el nivel de significancia con el cual se toma la decisión del análisis.

Fuente: elaboración propia

Tabla 99. Prueba de Kruskal-Wallis para producción óptima de biogás de estiércol de ganado bovino

Dosis	Tamaño Muestra	Rango Promedio
1	3	2.0
10	3	5.00
20	3	8.0
30	3	11.00
35	3	14.00

Estadístico = 13.60 Valor-p = 0.0087

*El valor – p indica el nivel de significancia con el cual se toma la decisión del análisis.

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 99, se observa que el valor-P es menor que 0.05 determinando existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95.0% de confianza.

○ **Tratamiento 5% - Altura**

En la Tabla 100, se puede observar los resultados obtenidos al emplear biol bovino a una concentración al 5% en la altura del crecimiento de semillas de *Lactuca Sativa* determinando que en el día 35 se obtuvo mayor crecimiento de 4.5 ± 0.42 cm, por otra parte, en los días 20 y 30 se obtuvieron bajos valores de altura de 1.53 ± 0.04 y 3.35 ± 0.29 cm respectivamente, mientras, en el día 1 no se observó crecimiento y en el día 10 se obtuvo la menor altura de crecimiento de 0.36 ± 0.02 cm, según estos análisis podemos determinar que en el día 35 se obtuvo el mayor crecimiento (cm) de semillas de *Lactuca Sativa* de 4.5 cm.

Tabla 100. Altura promedio en semillas de *Lactuca Sativa* empleando biol bovino al 5%.

Día	Recuento	Promedio \pm DE (ml)	Coefficiente de variación (%)
1	3	0 ^a	0.00
10	3	0.36 \pm 0.02 ^b	4.20
20	3	1.53 \pm 0.04 ^c	2.64
30	3	3.35 \pm 0.29 ^d	8.71
35	3	4.45 \pm 0.42 ^e	9.33

*DE indica la desviación estándar entre las mediciones. Fuente: elaboración propia

Al aplicar un análisis estadístico, se realizó la prueba de Shapiro Wilk, donde se obtuvo un valor de $p < 0.05$ mostrando que los tratamientos presentaron datos con una ausencia de distribución normal (Tabla 101), por ello, para evaluar la diferencia de altura entre los días de tratamientos se realizó la prueba de Kruskal Wallis (Tabla 102).

Tabla 101. Prueba de normalidad Shapiro – Wilk para la altura del crecimiento en semillas de *Lactuca Sativa* empleando biol bovino al 5%

Prueba	Estadístico	Valor-p
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0.8691	0.0327

*El valor – p indica el nivel de significancia con el cual se toma la decisión del análisis.

Fuente: elaboración propia

Tabla 102. de Kruskal-Wallis para producción óptima de biogás de estiércol de ganado combinado

Dosis	Tamaño Muestra	Rango Promedio
1	3	2.0
10	3	5.00
20	3	8.0
30	3	11.00
35	3	14.00

Estadístico = 13.60 Valor-p = 0.0087

*El valor – p indica el nivel de significancia con el cual se toma la decisión del análisis.

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 102, se observa que el valor-P es menor que 0.05 determinando existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95.0% de confianza.

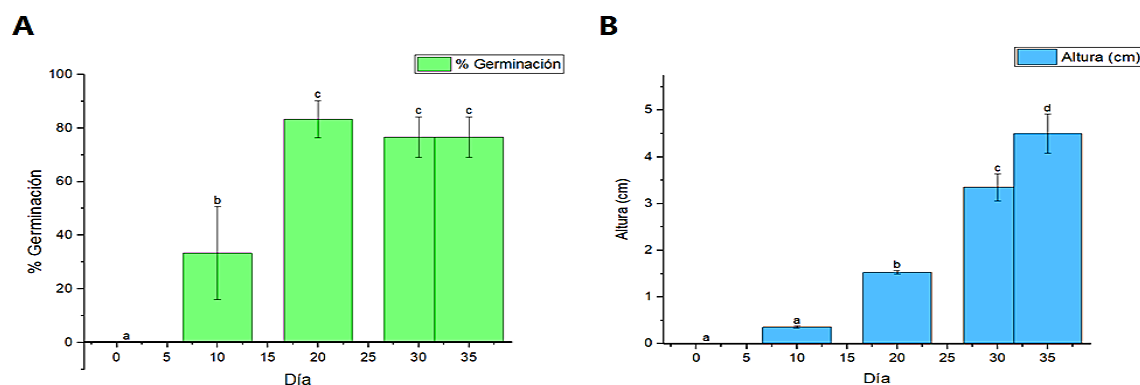


Figura 35. Germinación (%) y altura promedio en semillas de *Lactuca Sativa* empleando biol bovino al 5% en función a diferentes días

Fuente: elaboración propia

En la Figura 35, del lado A del gráfico, podemos observar que, al emplear cualquiera de los días 10,30 y 35 se tendrá menores porcentajes de germinación en semillas de *Lactuca Sativa*, por lo que, podríamos optar por el día 20 por presentar mayor porcentaje de germinación (%), permitiendo confirmar que existe una diferencia significativa entre los datos empleados.

Por su parte, del lado B del gráfico, podemos observar que los tratamientos presentaron una diferencia significativa, así mismo, se puede determinar que, al emplear cualquiera de los días 10,20 y 30 se tendrá menor altura en el crecimiento de *Lactuca Sativa*, por lo que, podríamos optar por el día 35 por presentar mayor altura en *Lactuca Sativa*.

○ **Tratamiento al 10% - Germinación:**

En la Tabla 103, se puede observar los resultados obtenidos al emplear biol bovino a una concentración al 10 % para la germinación de semillas de *Lactuca Sativa* determinando que en el día 20 se obtuvo el mayor % de germinación de 86.67 ± 5.77 %, por otra parte, en los días 30 y 35 se obtuvieron menores porcentajes de germinación del 83.33 ± 5.77 % para

ambos, mientras, en el día 1 no se observó germinación y en el día 10 se obtuvo el menor porcentaje de germinación de $43.33 \pm 5.77\%$, según estos análisis podemos determinar que en el día 20 se obtendrá altos porcentajes de germinación de semillas de *Lactuca Sativa* del 86%.

Tabla 103. Germinación promedio (%) en semillas de *Lactuca Sativa* empleando biol bovino al 10%

Día	Recuento	Promedio \pm DE(%)	Coefficiente de Variación (%)
1	3	0 ^a	0
10	3	43.33 ± 5.77 ^b	13.32
20	3	86.67 ± 5.77 ^c	6.66
30	3	83.33 ± 5.77 ^c	6.93
35	3	83.33 ± 5.77 ^c	6.93

*DE indica la desviación estándar entre las mediciones.

Fuente: elaboración propia

Al aplicar un análisis estadístico, se realizó la prueba de Shapiro Wilk, donde se obtuvo un valor de $p < 0.05$ mostrando que los tratamientos presentaron datos con una ausencia de distribución normal (Tabla 104), por tanto, para evaluar la diferencia de germinación entre los días de tratamientos se realizó la prueba de Kruskal Wallis (Tabla 105).

Tabla 104 Pruebas de Normalidad para la germinación promedio en semillas de *Lactuca Sativa* empleando biol bovino al 10%

Prueba	Estadístico	Valor-p
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0.8691	0.0327

*El valor – p indica el nivel de significancia con el cual se toma la decisión del análisis.

Fuente: elaboración propia

Tabla 105. Prueba de Kruskal-Wallis para la germinación en semillas de *Lactuca Sativa* empleando biol bovino al 5%

Dosis	Tamaño Muestra	Rango Promedio
1	3	2.0
10	3	5.00
20	3	8.0
30	3	11.00
35	3	14.00

Estadístico = 11.76 Valor-p = 0.0192

*El valor – p indica el nivel de significancia con el cual se toma la decisión del análisis.

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 105, se observa que el valor-P es menor que 0.05 determinando existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95.0% de confianza.

○ **Tratamiento 10% - Altura**

En la Tabla 106, se puede observar los resultados obtenidos al emplear biol bovino a una concentración al 10% en la altura del crecimiento de semillas de *Lactuca Sativa* determinando que en el día 35 se obtuvo mayor crecimiento de 5.73 ± 0.42 cm, por otra parte, en los días 20 y 30 se obtuvieron bajos valores de altura de 2.02 ± 0.04 y 4.16 ± 0.29 cm respectivamente, mientras, en el día 1 no se observó crecimiento y en el día 10 se obtuvo la menor altura de crecimiento de 0.36 ± 0.02 cm, según estos análisis podemos determinar que en el día 35 se obtuvo el mayor crecimiento de semillas de *Lactuca Sativa* de 4.5 cm.

Tabla 106. Altura promedio en semillas de *Lactuca Sativa* empleando biol bovino al 10%.

Día	Recuento	Promedio \pm DE (cm)	Coefficiente de Variación (%)
1	3	0 ^a	0
10	3	0.57 ± 0.02 ^a	8.04
20	3	2.02 ± 0.04 ^b	9.43
30	3	4.16 ± 0.29 ^c	9.86

35	3	5.73 ± 0.42^d	9.43
----	---	-------------------	------

*El valor – p indica el nivel de significancia con el cual se toma la decisión del análisis.

Fuente: elaboración propia

Al aplicar un análisis estadístico, se realizó la prueba de Shapiro Wilk, donde se obtuvo un valor de $p < 0.05$, lo cual sugiere que entre los valores de la variable existen diferencias estadísticamente significativas, lo que determina que, los datos no cumplen con una distribución normal (Tabla 107), por lo que, se realizó la prueba de Kruskal Wallis (108) para determinar la significancia de los resultados de la variable.

Tabla 107. Pruebas de Normalidad para la altura del crecimiento en semillas de Lactuca Sativa empleando biol bovino al 10%

Prueba	Estadístico	Valor-p
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0.8886	0.0638

*El valor – p indica el nivel de significancia con el cual se toma la decisión del análisis.

Fuente: elaboración propia

Tabla 108. Prueba de Kruskal-Wallis para la altura del crecimiento en semillas de Lactuca Sativa empleando biol bovino al 10%

Dosis	Tamaño de muestra	Rango promedio
1	3	2.00
10	3	5.00
20	3	8.00
30	3	11.00
35	3	14.00
Estadístico =	13.60	Valor – p= 0.0087

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 108, se observa que el valor-P es menor que 0.05 determinando existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95.0% de confianza.

En la Figura 36, del lado A del gráfico, podemos observar que, al emplear cualquiera de los días 10,30 y 35 se tendrá menores porcentajes de germinación en semillas de *Lactuca Sativa*, por lo que, podríamos optar por el día 20 por presentar mayor porcentaje de germinación (%), permitiendo confirmar que existe una diferencia significativa entre los datos empleados.

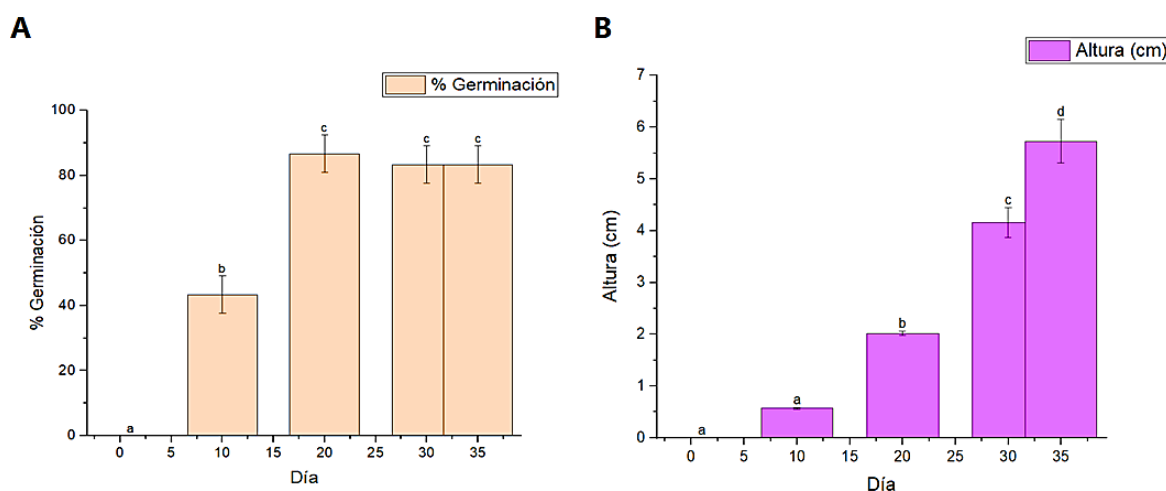


Figura 36. Porcentaje de germinación (A) y altura (B) promedio en semillas de *Lactuca Sativa* (ml) empleando biol bovino al 10% .

Fuente: elaboración propia

Mientras que, del lado B del gráfico, podemos observar que los tratamientos presentaron una diferencia significativa, así mismo, se puede determinar que, al emplear cualquiera de los días 10, 20 y 30 se tendrá menor altura en el crecimiento de *Lactuca Sativa*, por lo que, podríamos optar por el día 35 por presentar mayor altura en *Lactuca Sativa*.

Comparación de T1-B vs T2-B, empleando Biol Bovino.

- Germinación

En la Tabla 109, se puede observar los resultados obtenidos al emplear biol bovino a diferentes concentraciones para la germinación de semillas de *Lactuca Sativa* determinando que en el día 35 al emplear la concentración T2-B se obtuvo el mayor % de germinación de

83.33± 0, mientras, que al trabajar con la concentración T1-B se obtuvo el menor % de germinación de 76.67 ± 0. Según estos análisis podemos determinar que en el día 35 se obtendrá altos porcentajes de germinación de semillas de *Lactuca Sativa* del 83%.

Tabla 109. Porcentaje de germinación en el día 35 empleando concentraciones de estiércol bovino T1-B y T2-B

Concentración	Recuento	Promedio ±DE (ml)	Coefficiente de variación (%)
T1-B	3	76.67 ± 0 ^a	0.00
T2 - B	3	83.33 ± 0 ^b	0.00

Fuente: elaboración propia

Al aplicar un análisis estadístico, se realizó la prueba de Shapiro Wilk (Tabla 110), donde se obtuvo un valor de $p < 0.05$ mostrando que los tratamientos presentaron datos con una ausencia de distribución normal. Por tanto, para determinar la significancia de la variable entre los tratamientos, se empleó la prueba Kruskal – Wallis (Tabla 111).

Tabla 110. Pruebas de Normalidad para la germinación en semillas de *Lactuca Sativa* empleando biol bovino a concentraciones de T1-B Y T2-B.

Prueba	Estadístico	Valor-p
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0.6826	0.0040

*El valor – p indica el nivel de significancia con el cual se toma la decisión del análisis.

Fuente: elaboración propia

Tabla 111. Prueba de Kruskal-Wallis para la germinación en semillas de *Lactuca Sativa* empleando biol bovino a concentraciones de T1-B Y T2-B

Concentraciones	Tamaño Muestra	Rango Promedio
T1-B	3	2.0
T2-B	3	5.0
Estadístico = 5.0		Valor-p = 0.0253

*El valor – p indica el nivel de significancia con el cual se toma la decisión del análisis.

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 111, se observa que el valor-P es menor que 0.05 determinando existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95.0% de confianza.

En las gráficas contenidas en Anexo 3, podemos observar que los tratamientos presentaron una diferencia significativa, determinando al emplear la concentración T2-B se tendrá mayores % porcentajes de germinación, por lo que, podríamos optar por tal concentración a diferencia del T1-B.

○ Altura

En la Tabla 112, se puede observar los resultados obtenidos al emplear biol bovino en la altura del crecimiento de semillas de *Lactuca Sativa* determinando que en el día 35 al emplear la concentración T2-B se obtuvo la mayor altura de crecimiento de 5.73 ± 0 cm, mientras que al trabajar con la concentración T1-B se obtuvo la menor altura de crecimiento de 4.50 ± 0 cm, según estos análisis podemos determinar que en el día 35 se obtuvo el mayor crecimiento (cm) de semillas de *Lactuca Sativa* de 5.73 cm con el tratamiento T2-B.

Tabla 112. Altura promedio en semillas de *Lactuca Sativa* empleando biol bovino con concentraciones de T1-B Y T2-B

Concentración	Recuento	Promedio \pm DE(%)	Coefficiente de Variación (%)
T1-B	3	4.50 ± 0^a	0
T2-B	3	5.73 ± 0^b	0

* DE indica la desviación estándar entre las mediciones. Fuente: elaboración propia

Al aplicar un análisis estadístico, se realizó la prueba de Shapiro Wilk, donde se obtuvo un valor de $p < 0.05$ mostrando que los tratamientos presentaron datos con una ausencia de distribución normal (Tabla 113), por lo que, para evaluar la diferencia de altura en el día 35 con diferentes concentraciones de biol bovino, se realizó la prueba de Kruskal Wallis (Tabla 114).

Tabla 113. Pruebas de normalidad para la altura promedio en semillas de *Lactuca Sativa* empleando biol bovino a concentraciones de T1-B y T2-B

Prueba	Estadístico	Valor-p
Estadístico W de Shapiro- Wilk	0.6826	0.0040

*El valor – p indica el nivel de significancia con el cual se toma la decisión del análisis.

Fuente: elaboración propia

Tabla 114. Prueba de Kruskal-Wallis para la altura promedio en semillas de *Lactuca Sativa* empleando biol bovino a concentraciones de T1-B y T2-B

Concentraciones	Tamaño Muestra	Rango Promedio
T1-B	3	2.0
T2-B	3	5.0
Estadístico = 5.0		Valor-p = 0.0253

*El valor – p indica el nivel de significancia con el cual se toma la decisión del análisis.

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 114, se observa que el valor-P es menor que 0.05 determinando existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95.0% de confianza.

Germinación y altura de la planta *Lactuca Sativa* con biol de estiércol ovino

- **Tratamiento al 5% - germinación**

Tabla 115. Producción promedio de germinación y altura de la planta de *Lactuca Sativa*, con biol ovino.

TRATAMIENTOS								
TIEMPO	T1-O				T2-O			
	5%				10%			
	%GERMINACION		ALTURA		%GERMINACION		ALTURA	
	%	DS	PROMEDIO DE ALTURA	DS	%	DS	PROMEDIO DE ALTURA	DS
0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	26.66667	11.54701	0.283333	0.15308	36.66667	11.54701	0.253333	0.095044
10	63.33333	5.773503	0.906667	0.061101	73.33333	5.773503	0.973333	0.040411
15	93.33333	11.54701	1.93	0.190788	90	0	1.84	0.07549
20	96.66667	5.773503	3.153333	0.313422	96.66667	5.773503	3.096667	0.197311
25	96.66667	5.773503	4.94	0.52003	96.66667	5.773503	4.79	0.43715
30	96.66667	5.773503	5.95	0.33406	96.66667	5.773503	6.156667	0.52624
35	96.66667	5.773503	7.586667	0.44185	96.66667	5.773503	8.213333	0.59433

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 115, se muestra detalladamente las características iniciales de germinación y altura de la planta de *Lactuca Sativa* con tratamientos para biol ovino, en el tratamiento 1

(T1) al 5% se evidenció desde el décimo día un 63.3 % de germinación y una altura de la planta promedio de 0.90 cm, alcanzando hasta el día 35 un 96.7 % de germinación y una altura promedio de 7.6 cm. En el tratamiento 2 (T2) al 10% se evidenció desde el décimo día un 73.3 % de germinación y una altura promedio de 0.97 cm, alcanzando hasta el día 35 un 96.7 % de germinación y una altura promedio de 8.21 cm.

En las Figuras 37 y 38 a continuación, se observan los resultados de la producción promedio tanto de % de germinación como de altura de la planta con efecto del Biol Ovino en la *Lactuca Sativa*.

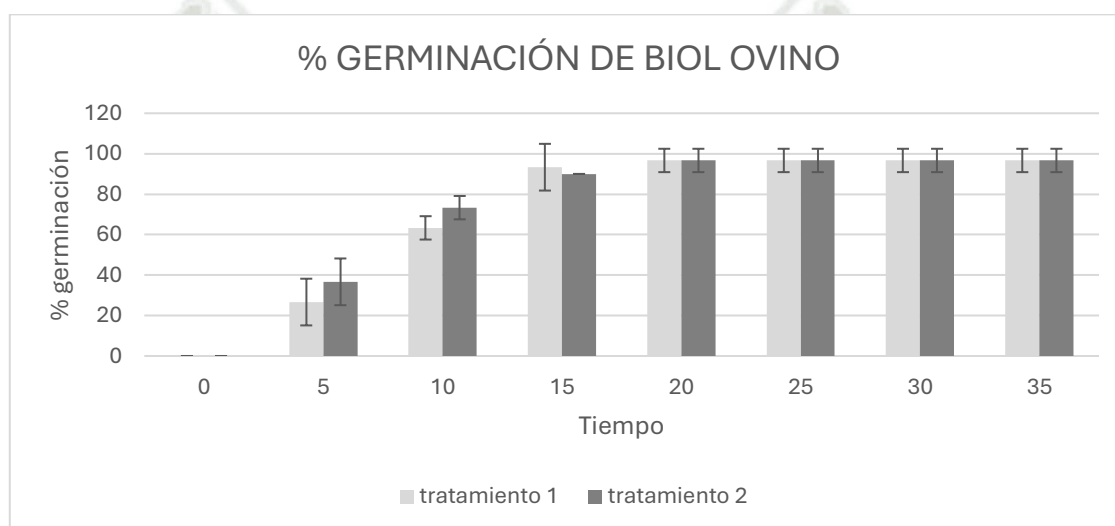


Figura 37. Producción promedio de germinación de *Lactuca Sativa* con Biol Ovino.

Fuente: elaboración propia

Según la Figura 37, se deduce que el biol ovino alcanzó un % de germinación promedio proporcional al periodo de tiempo de siembra, donde para el tratamiento 1 con 5% de biol se obtuvo el 96.67 ± 5.77 % de germinación y para el tratamiento 2 con 10% de biol se obtuvo 96.67 ± 5.77 % de semillas germinadas de *Lactuca Sativa* dentro en un lapso de 35 días.

Otros estudios han reportado, una concentración del 10% del biol ovino producido en una primera generación el desarrollo normal de las semillas alcanzando un porcentaje de germinación mayor al 95%. Concluyendo así la influencia positiva que posee el biol ovino en la germinación y el desarrollo inicial de *Lactuca Sativa*.

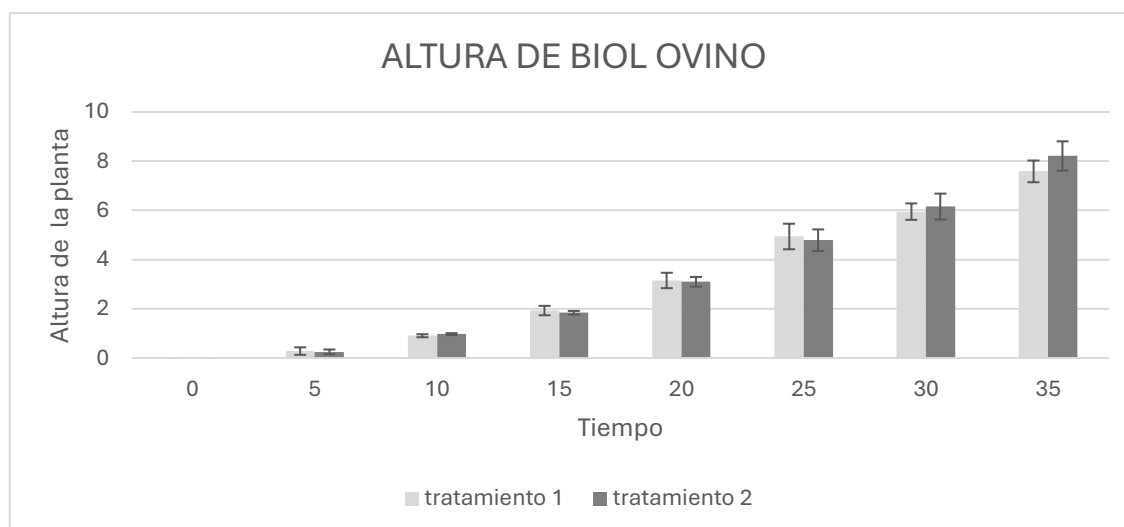


Figura 38. Producción promedio de altura de la planta de *Lactuca Sativa*. con Biol Ovino.

Fuente: elaboración propia

Según la Figura 38, se deduce que el biol ovino consiguió una altura promedio proporcional con el periodo de tiempo de siembra, donde se obtuvo que para el tratamiento 1 con 5% de biol se alcanzó la altura de 7.59 ± 0.52 cm y para el tratamiento 2 con 10% de biol se alcanzó 8.21 ± 0.25 cm de altura de *Lactuca Sativa* dentro en un lapso de 35 días.

Tal como se reporta según Cotrina Cabello et al. (33), cual a una concentración de 10% de superbiol, el cual es un fertilizante líquido orgánico producido a partir de la majada de borrego, presento una mayor altura, diámetro y peso de *Lactuca Sativa* en comparación con el 5% y 7.5% empleados como tratamiento, además de mejorar la producción.

3.5.2. Análisis estadístico del % de germinación y altura promedio de semillas de *Lactuca Sativa* empleando biol ovino al 5% y al 10%

- Tratamiento al 5% - germinación:

En la Tabla 116, se puede observar los resultados obtenidos al emplear biol ovino a una concentración al 5% para la germinación de semillas de *Lactuca Sativa* determinando que en el día 20, 30 y 35 se obtuvo el mayor % de germinación de 96.67 ± 5.77 , mientras, en el día 1 no se observó germinación, por otra parte, en el día 10 se obtuvo el menor porcentaje de germinación de 63.33 ± 5.77 %, según estos análisis podemos determinar que en el día 20, 30 y 35 se obtendrá altos porcentajes de germinación de semillas de *Lactuca Sativa* del 97%.

Tabla 116. Porcentaje de germinación promedio en semillas de Lactuca Sativa empleando biol ovino al 5%.

Día	Recuento	Promedio \pm DE (%)	Coefficiente de Variación (%)
1	3	0 ^a	0
10	3	63.33 \pm 5.77 ^b	9.11
20	3	96.67 \pm 5.77 ^c	5.97
30	3	96.67 \pm 5.77 ^c	5.97
35	3	96.67 \pm 5.77 ^c	5.97

*DE indica desviación estándar entre las mediciones.

Fuente: elaboración propia

Al aplicar un análisis estadístico, se realizó la prueba de Shapiro Wilk, donde se obtuvo un valor de $p < 0.05$ mostrando que los tratamientos presentaron datos con una ausencia de distribución normal (Tabla 117), por lo que, para evaluar la diferencia de germinación entre los días de tratamientos se realizó la prueba de Kruskal Wallis (Tabla 118).

Tabla 117. Prueba de normalidad para la germinación en semillas de Lactuca Sativa empleando biol ovino al 5%

Prueba	Estadístico	Valor-p
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0.7277	0.0005

*El valor – p indica el nivel de significancia con el cual se toma la decisión del análisis.

Fuente: elaboración propia

Tabla 118. Prueba de Kruskal-Wallis para la germinación en semillas de *Lactuca Sativa* empleando biol ovino al 5%

Dosis	Tamaño Muestra	Rango Promedio
1	3	2.0
10	3	5.00
20	3	8.0
30	3	11.00
35	3	14.00

Estadístico = 11.72 Valor-p = 0.0196

*El valor – p indica el nivel de significancia con el cual se toma la decisión del análisis.

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 118, se observa que el valor-P es menor que 0.05 determinando existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95.0% de confianza.

○ **Tratamiento 5% - Altura**

En la Tabla 119, se puede observar los resultados obtenidos al emplear biol ovino a una concentración al 5% en la altura del crecimiento de semillas de *Lactuca Sativa* determinando que en el día 35 se obtuvo mayor crecimiento de 7.59 ± 0.44 cm, por otra parte, en los días 20 y 30 se obtuvieron bajos valores de altura de 5.95 ± 0.04 y 3.15 ± 0.29 cm respectivamente, mientras, en el día 1 no se observó crecimiento y en el día 10 se obtuvo la menor altura de crecimiento de 0.90 ± 0.06 cm, según estos análisis podemos determinar que en el día 35 se obtuvo el mayor crecimiento (cm) de semillas de *Lactuca Sativa* de 7.59 cm.

Tabla 119. Altura promedio en semillas de *Lactuca Sativa* empleando biol ovino al 5%.

Día	Recuento	Promedio \pm DE (%)	Coefficiente de Variación (%)
1	3	0 ^a	0
10	3	0.90 \pm 0.06 ^b	6.73
20	3	3.15 \pm 0.31 ^c	9.94
30	3	5.95 \pm 0.33 ^d	5.61
35	3	7.59 \pm 0.44 ^e	5.82

*DE indica la desviación estándar entre las mediciones.

Fuente: elaboración propia

Al aplicar un análisis estadístico, se realizó la prueba de Shapiro Wilk, donde se obtuvo un valor de $p \geq 0.05$ determinando que los tratamientos presentaron datos con una distribución normal (Tabla 120), por lo que, para evaluar la significancia de los datos se llevó a cabo una prueba de ANOVA (Tabla 121).

Tabla 120. Prueba de normalidad para la altura del crecimiento en semillas de *Lactuca Sativa* empleando biol ovino al 5%

Prueba	Estadístico	Valor-p
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0.8848	0.0559

*El valor – p indica el nivel de significancia con el cual se toma la decisión del análisis.

Fuente: elaboración propia

Tabla 121. Análisis de varianza para la altura del crecimiento en semillas de *Lactuca Sativa* empleando biol ovino al 5%

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-p
Entre grupos	70.1403	4	17.5351	175.84	0.0000
Intra grupos	0.9972	10	0.09972		
Total (Corr.)	71.1375	14			

*El valor $-p$ indica el nivel de significancia con el cual se toma la decisión del análisis.

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 121, debido a que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 5 variables con un nivel del 95.0% de confianza.

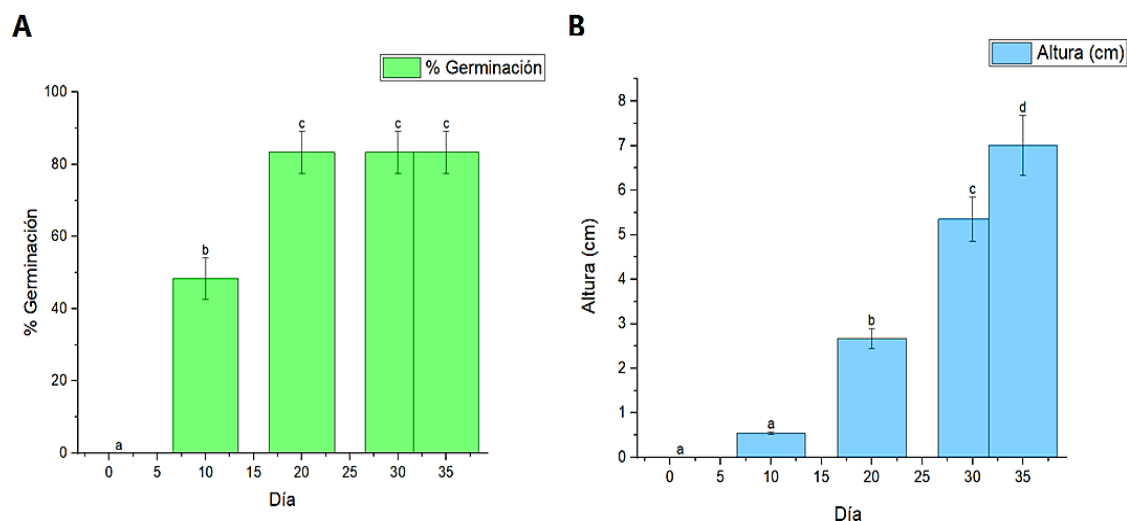


Figura 39. Porcentaje de germinación (A) y Altura (B) promedio en semillas de *Lactuca Sativa* (ml) empleando biol ovino al 5 % en función a diferentes días.

Fuente: elaboración propia

En la Figura 39, del lado A de la gráfica, podemos observar que, al emplear cualquiera de los días 10,30 y 35 se tendrá mayores porcentajes de germinación en semillas de *Lactuca Sativa*, por lo que, podríamos optar por estos días por presentar mayor porcentaje de germinación (%), permitiendo confirmar que existe una diferencia significativa entre los datos empleados.

Del lado B de la gráfica, podemos observar que los tratamientos presentaron una diferencia significativa, así mismo, se puede determinar que, al emplear cualquiera de los días 10, 20 y 30 se tendrá menor altura en el crecimiento de *Lactuca Sativa*, por lo que, podríamos optar por el día 35 por presentar mayor altura en el crecimiento de *Lactuca Sativa*.

○ **Tratamiento al 10% - germinación:**

En la Tabla 122, se puede observar los resultados obtenidos al emplear biol ovino a una concentración al 10 % para la germinación de semillas de *Lactuca Sativa* determinando que

en el día 20, 30 y 35 se obtuvo el mayor % de germinación de 96.67 ± 5.77 , mientras, en el día 1 no se observó germinación, por otra parte, en el día 10 se obtuvo el menor porcentaje de germinación de 76.67 ± 5.77 %, según estos análisis podemos determinar que en el día 20, 30 y 35 se obtendrá altos porcentajes de germinación de semillas de *Lactuca Sativa* del 97%.

Tabla 122. Porcentaje de germinación promedio en semillas de *Lactuca Sativa* empleando biol ovino al 10%.

Día	Recuento	Promedio \pm DE(%)	Coefficiente de Variación (%)
1	3	0 ^a	0
10	3	76.67 ± 5.77 ^b	7.53
20	3	96.67 ± 5.77 ^c	5.97
30	3	96.67 ± 5.77 ^c	5.97
35	3	96.67 ± 5.77 ^c	5.97

*DE indica la desviación estándar entre las mediciones.

Fuente: elaboración propia

Al aplicar un análisis estadístico, se realizó la prueba de Shapiro Wilk, donde se obtuvo un valor de $p < 0.05$ mostrando que los tratamientos presentaron datos con una ausencia de distribución normal (Tabla 123), para evaluar la diferencia de germinación entre los días de tratamientos se realizó la prueba de Kruskal Wallis (Tabla 124).

Tabla 123. Pruebas de Normalidad para la germinación en semillas de *Lactuca Sativa* empleando biol ovino al 10%

Prueba	Estadístico	Valor-p
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0.6704	0.0001

*El valor – p indica el nivel de significancia con el cual se toma la decisión del análisis.

Fuente: elaboración propia

Tabla 124. Prueba de Kruskal-Wallis para la germinación en semillas de *Lactuca Sativa* empleando biol ovino al 10%

Dosis	Tamaño de muestra	Rango promedio
1	3	2.00
10	3	5.00
20	3	11.00
30	3	11.00
35	3	11.00
Estadístico = 11.72		Valor -p = 0.0196

*El valor -p indica el nivel de significancia con el cual se toma la decisión del análisis.

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 124, se observa que el valor-P es menor que 0.05 determinando existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95.0% de confianza.

○ **Tratamiento al 10% - Altura**

En la Tabla 125, se puede observar los resultados obtenidos al emplear biol ovino a una concentración al 5% en la altura del crecimiento de semillas de *Lactuca Sativa* determinando que en el día 35 se obtuvo mayor crecimiento de 8.21 ± 0.59 cm, por otra parte, en los días 20 y 30 se obtuvieron bajos valores de altura de 3.10 ± 0.20 y 6.16 ± 0.53 cm respectivamente, mientras, en el día 1 no se observó crecimiento y en el día 10 se obtuvo la menor altura de crecimiento de 0.97 ± 0.04 cm, según estos análisis podemos determinar que en el día 35 se obtuvo el mayor crecimiento (cm) de semillas de *Lactuca Sativa* de 8.21cm.

Tabla 125. Altura promedio en semillas de Lactuca Sativa empleando biol ovino al 10 %.

Día	Recuento	Promedio \pm DE (ml)	Coefficiente de variación (%)
1	3	0 \pm 0 ^a	0.00
10	3	0.97 \pm 0.04 ^b	4.15
20	3	3.10 \pm 0.20 ^c	6.37
30	3	6.16 \pm 0.53 ^d	8.55
35	3	8.21 \pm 0.59 ^e	7.24

Fuente: elaboración propia

Al aplicar un análisis estadístico, se realizó la prueba de Shapiro Wilk, donde se obtuvo un valor de $p \geq 0.05$ determinando que los tratamientos presentaron datos con una distribución normal (Tabla 126), por lo cual, para evaluar la significancia de los datos se llevó a cabo una prueba de ANOVA (Tabla 127).

Tabla 126. Pruebas de Normalidad para la altura del crecimiento en semillas de Lactuca Sativa empleando biol ovino al 10 %

Prueba	Estadístico	Valor-p
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0.8837	0.0538

*El valor – p indica el nivel de significancia con el cual se toma la decisión del análisis.

Fuente: elaboración propia

Tabla 127. Análisis de varianza para la altura del crecimiento en semillas de Lactuca Sativa empleando biol ovino al 10%

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-p
Entre grupos	143.68	4	35.92	267.77	0.0000
Intra grupos	1.34147	10	0.134147		
Total (Corr.)	145.022	14			

*El valor $-p$ indica el nivel de significancia con el cual se toma la decisión del análisis.

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 127, debido a que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 5 variables con un nivel del 95.0% de confianza.

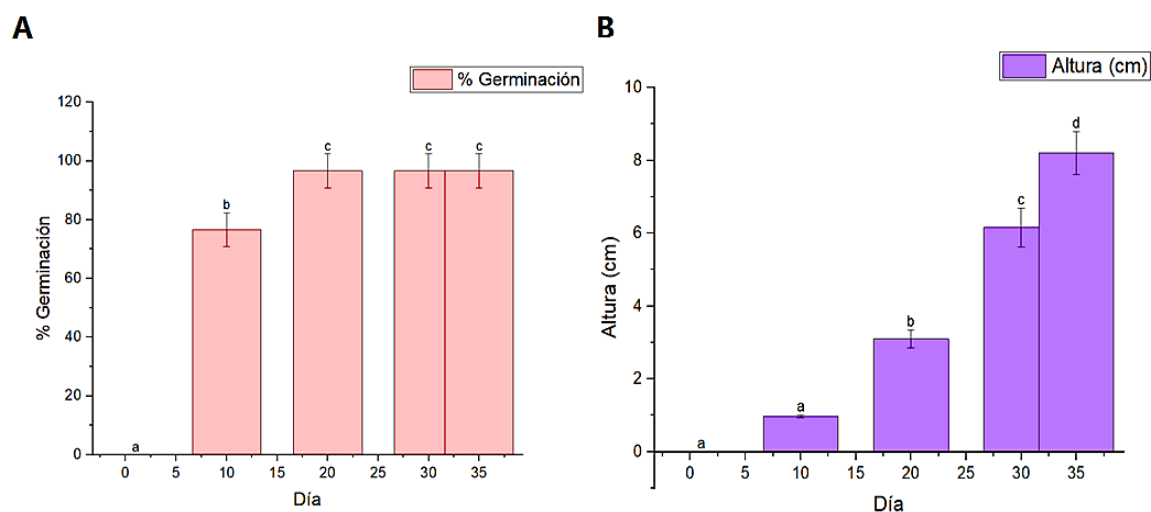


Figura 40. % de Germinación (A) y Altura (B) promedio en semillas de *Lactuca Sativa* (ml) empleando biol ovino al 10 % en función a diferentes días

Fuente: elaboración propia

En la Figura 40, del lado A del gráfico, podemos observar que, al emplear cualquiera de los días 20 ,30 y 35 se tendrá mayores porcentajes de germinación en semillas de *Lactuca Sativa*, por lo que, podríamos optar por estos días por presentar mayor porcentaje de germinación (%), permitiendo confirmar que existe una diferencia significativa entre los datos empleados.

En la Figura, del lado B del gráfico, podemos observar que los tratamientos presentaron una diferencia significativa, así mismo, se puede determinar que, al emplear cualquiera de los días 10 y 20 se tendrá menor altura en el crecimiento de *Lactuca Sativa*, por lo que, podríamos optar por el día 35 por presentar mayor altura en el crecimiento de *Lactuca Sativa*.

Comparación de T1-O vs T2-O, empleando biol Ovino.

- Germinación

En la Tabla 128, se puede observar los resultados obtenidos al emplear biol ovino a diferentes concentraciones para la germinación de semillas de *Lactuca Sativa* determinando que en el día 35 al emplear la concentración T2-O se obtuvo % de germinación de 96.67 ± 0 , mientras, que al trabajar con la concentración T1-O se obtuvo igual % de germinación de 96.67 ± 0 . Según estos análisis podemos determinar que en el día 35 se obtendrá altos porcentajes de germinación de semillas de *Lactuca Sativa* del 97%.

Tabla 128. % de germinación en el día 35 empleando concentraciones de biol ovino T1-O y T2-O

Concentración	Recuento	Promedio \pm DE (%)	Coefficiente de Variación (%)
T1-O	3	96.67 ± 0^a	0
T2-O	3	96.67 ± 0^b	0

* DE indica la desviación estándar de las mediciones.

Fuente: elaboración propia

Al aplicar un análisis estadístico, se realizó la prueba de Shapiro Wilk, donde se obtuvo un valor de $p < 0.05$ mostrando que los tratamientos presentaron datos con una ausencia de distribución normal (Tabla 129), para evaluar la diferencia de germinación entre los días de tratamientos se realizó la prueba de Kruskal Wallis (Tabla 130).

Tabla 129. Pruebas de Normalidad para la germinación en semillas de *Lactuca Sativa* empleando biol ovino a concentraciones de T1-O Y T2-O

Prueba	Estadístico	Valor-p
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0.6826	0.0040

*El valor – p indica el nivel de significancia con el cual se toma la decisión del análisis.

Fuente: elaboración propia

Tabla 130. Prueba de Kruskal-Wallis para la germinación en semillas de *Lactuca Sativa* empleando biol ovino a concentraciones de T1-O Y T2-O.

Concentraciones	Tamaño Muestra	Rango Promedio
T1-B	3	2.0
T2-B	3	5.0
Estadístico = 5.0		Valor-p = 0.0253

*El valor – p indica el nivel de significancia con el cual se toma la decisión del análisis.

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 130, se observa que el valor-P es menor que 0.05 determinando existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95.0% de confianza.

- Altura

En la Tabla 131, se puede observar los resultados obtenidos al emplear biol ovino en la altura del crecimiento de semillas de *Lactuca Sativa* determinando en el día 35 al emplear la concentración T2-O se obtuvo la mayor altura de crecimiento de 8.21 ± 0 cm , mientras, que al trabajar con la concentración T1-O se obtuvo el menor altura de crecimiento de 7.59 ± 0 cm. según estos análisis podemos determinar que en el día 35 se obtuvo el mayor crecimiento (cm) de semillas de *Lactuca Sativa* de 8.21 cm.

Tabla 131. Altura promedio en semillas de *Lactuca Sativa* empleando biol ovino con concentraciones de T1-O Y T2-O.

Concentración	Recuento	Promedio \pm DE (ml)	Coefficiente de variación (%)
T1-O	3	7.59 ± 0^a	0.00
T2-O	3	8.21 ± 0^b	0.00

Fuente: elaboración propia

Al aplicar un análisis estadístico, se realizó la prueba de Shapiro Wilk, donde se obtuvo un valor de $p < 0.05$ mostrando que los tratamientos presentaron datos con una ausencia de distribución normal (Tabla 132), para evaluar la diferencia de germinación entre los días de tratamientos se realizó la prueba de Kruskal Wallis (Tabla 133).

Tabla 132. Pruebas de Normalidad para la altura promedio en semillas de Lactuca Sativa empleando biol ovino a concentraciones de T1-O y T2-O

Prueba	Estadístico	Valor-p
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0.6827	0.0040

*El valor – p indica el nivel de significancia con el cual se toma la decisión del análisis.

Fuente: elaboración propia

Tabla 133. Prueba de Kruskal-Wallis para la altura promedio en semillas de Lactuca Sativa empleando biol ovino a concentraciones de T1-O y T2-O

Concentraciones	Tamaño Muestra	Rango Promedio
T1-O	3	5.0
T2-O	3	2.0

Estadístico = 5.0 Valor-p = 0.0253

*El valor – p indica el nivel de significancia con el cual se toma la decisión del análisis.

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 133, se observa que el valor-P es menor que 0.05 determinando existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95.0% de confianza.

Tabla 134. Producción promedio de germinación y altura de la planta de semillas de *Lactuca Sativa*, con Biol Combinado.

TRATAMIENTOS								
TIEM PO	T1-C				T2-C			
	5%				10%			
	%GERMINAC ION		ALTURA		%GERMINAC ION		ALTURA	
	%	DS	PROMED IO DE ALTURA	DS	%	DS	PROMED IO DE ALTURA	DS
0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	16.666 67	5.7735 03	0.143333	0.0404 15	36.666 67	5.7735 03	0.413333	0.0680 69
10	43.333 33	5.7735 03	0.543333	0.0351 19	63.333 33	5.7735 03	1.1	0.07
15	66.666 67	5.7735 03	1.513333	0.1457 17	83.333 33	11.547 01	2.346667	0.2315 89
20	83.333 33	5.7735 03	2.67	0.2151 74	86.666 67	5.7735 03	3.47	0.3451 09
25	83.333 33	5.7735 03	4.01	0.4154 92	86.666 67	5.7735 03	5.22	0.4148 9
30	83.333 33	5.7735 03	5.35	0.5003	86.666 67	5.7735 03	6.07	0.5927 06

35	83.333	5.7735		0.6683	86.666	5.7735		0.6395
	33	03	7.006667	06	67	03	7.343333	57

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 134, se muestra detalladamente las características iniciales de germinación y altura de la planta de *Lactuca Sativa* con tratamientos para biol combinado, en el tratamiento 1 (T1) al 5% se evidenció desde el décimo día un 43.3 % de germinación y una altura de la planta promedio de 0.54 cm, alcanzando hasta el día 35 un 83.3 % de germinación y una altura promedio de 7.01 cm. En el tratamiento 2 (T2) al 10% se evidenció desde el décimo día un 63.3 % de germinación y una altura promedio de 1.1 cm, alcanzando hasta el día 35 un 86.7 % de germinación y una altura promedio de 7.34 cm.

En las Figuras 41 y 42 a continuación se observan los resultados de la producción promedio tanto de % de germinación como de altura de la planta con el efecto del Biol Combinado en *Lactuca Sativa*.

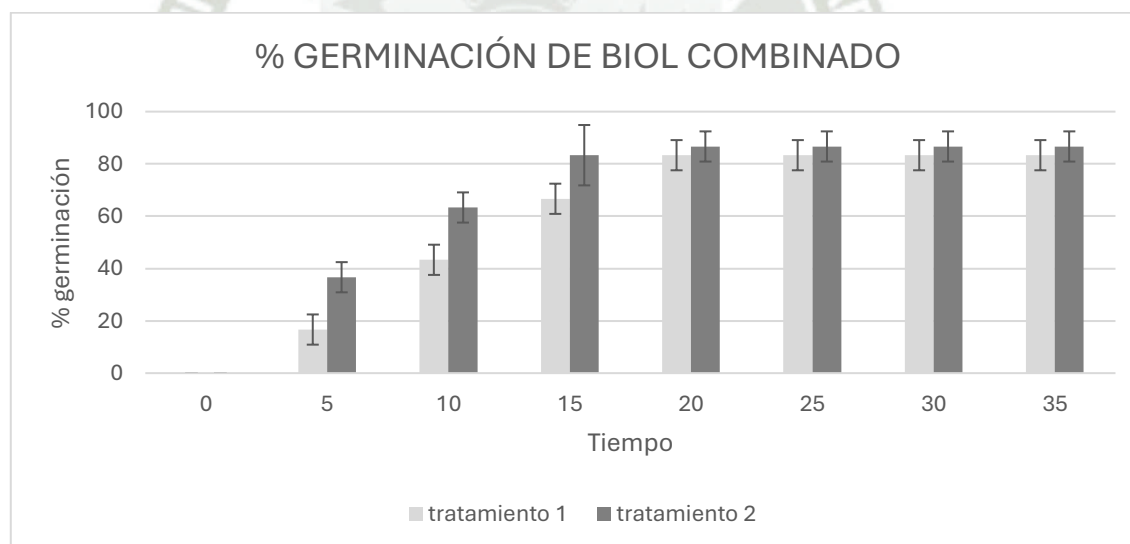


Figura 41. Producción promedio de germinación de *Lactuca Sativa* con Biol Combinado.

Fuente: elaboración propia

Según la Figura 41, se deduce que el biol combinado alcanzó un % de germinación promedio proporcional al periodo de tiempo de siembra, donde para el tratamiento 1 con 5% de biol se obtuvo el 83.33 ± 5.77 % de germinación y para el tratamiento 2 con 10% de biol se

obtuvo 86.67 ± 5.77 % de semillas germinadas de *Lactuca Sativa* dentro en un lapso de 35 días.

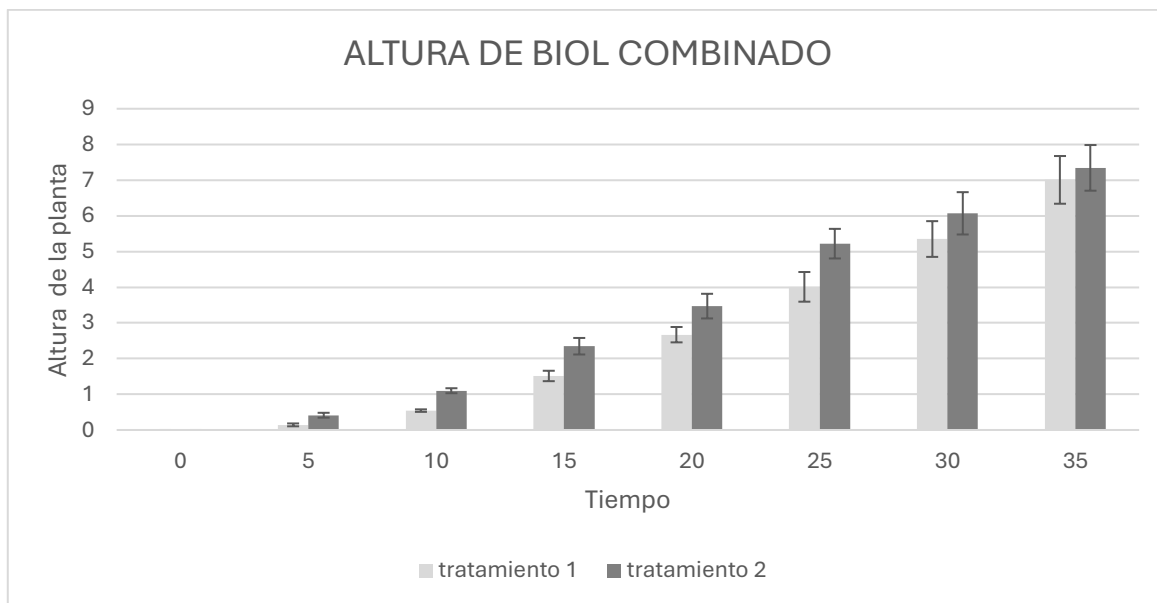


Figura 42. Producción promedio de altura de la planta de *Lactuca Sativa* con Biol Combinado.

Fuente: elaboración propia

Según la Figura 42, se deduce que el biol combinado consiguió una altura promedio proporcional con el periodo de tiempo de siembra, donde se obtuvo que para el tratamiento 1 con 5% de biol se alcanzó la altura de 7.01 ± 0.67 cm y para el tratamiento 2 con 10% de biol se alcanzó 7.34 ± 0.64 cm de altura de *Lactuca Sativa* dentro en un lapso de 35 días.

3.5.3. Determinación del % de germinación y altura promedio de semillas de *Lactuca Sativa* empleando biol combinado al 10%

○ Tratamiento al 5% - Germinación

En la Tabla 135, se puede observar los resultados obtenidos al emplear biol combinado a una concentración al 5 % para la germinación de semillas de *Lactuca Sativa* determinando que en el día 20, 30 y 35 se obtuvo el mayor % de germinación de 83.33 ± 5.77 , mientras, en el día 1 no se observó germinación, por otra parte, en el día 10 se obtuvo el menor porcentaje de germinación de 48.33 ± 5.77 %, según estos análisis podemos determinar que en el día 20, 30 y 35 se obtendrá altos porcentajes de germinación de semillas de *Lactuca*

Sativa del 83%.

Tabla 135. % de germinación promedio en semillas de Lactuca Sativa empleando biol combinado al 5%

Día	Recuento	Promedio \pm DE (%)	Coefficiente de Variación (%)
1	3	0 ^a	0
10	3	48.33 \pm 5.77 ^b	13.32
20	3	83.33 \pm 5.77 ^c	6.93
30	3	83.33 \pm 5.77 ^c	6.93
35	3	83.33 \pm 5.77 ^c	6.93

*DE indica la desviación estándar entre las mediciones.

Fuente: elaboración propia

Al aplicar un análisis estadístico, se realizó la prueba de Shapiro Wilk, donde se obtuvo un valor de $p < 0.05$ mostrando que los tratamientos presentaron datos con una ausencia de distribución normal (Tabla 136), para evaluar la diferencia de germinación entre los días de tratamientos se realizó la prueba de Kruskal Wallis (Tabla 137).

Tabla 136. Pruebas de Normalidad para la germinación en semillas de Lactuca Sativa empleando biol combinado al 5%

Prueba	Estadístico	Valor-p
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0.7764	0.0019

*El valor – p indica el nivel de significancia con el cual se toma la decisión del análisis.

Fuente: elaboración propia

Tabla 137. Prueba de Kruskal-Wallis para la germinación en semillas de *Lactuca Sativa* empleando biol combinado al 5%

Dosis	Tamaño Muestra	Rango Promedio
1	3	2.0
10	3	5.00
20	3	11.00
30	3	11.00
35	3	11.00

Estadístico = 11.72 Valor-p = 0.0196

*El valor – p indica el nivel de significancia con el cual se toma la decisión del análisis.

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 137, se observa que el valor-P es menor que 0.05 determinando existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95.0% de confianza.

○ **Altura**

En la Tabla 138, se puede observar los resultados obtenidos al emplear biol ovino a una concentración al 5% en la altura del crecimiento de semillas de *Lactuca Sativa* determinando que en el día 35 se obtuvo mayor crecimiento de 7.01 ± 0.67 cm, por otra parte, en los días 20 y 30 se obtuvieron bajos valores de altura de 2.67 ± 0.22 y 5.35 ± 0.50 cm respectivamente, mientras, en el día 1 no se observó crecimiento y en el día 10 se obtuvo la menor altura de crecimiento de 0.54 ± 0.03 cm, según estos análisis podemos determinar que en el día 35 se obtuvo el mayor crecimiento (cm) de semillas de *Lactuca Sativa* de 7.01 cm.

Tabla 138. Altura promedio en semillas de Lactuca Sativa empleando biol combinado al 5 %.

Día	Recuento	Promedio \pm DE (%)	Coefficiente de Variación (%)
1	3	0 ^a	0
10	3	0.54 \pm 0.03 ^a	6.46
20	3	2.67 \pm 0.22 ^b	8.05
30	3	5.35 \pm 0.50 ^c	9.35
35	3	7.01 \pm 0.67 ^d	9.54

*DE indica desviación estándar entre las mediciones.

Fuente: elaboración propia

Al aplicar un análisis estadístico, se realizó la prueba de Shapiro Wilk, donde se obtuvo un valor de $p < 0.05$ mostrando que los tratamientos presentaron datos con una ausencia de distribución normal (Tabla 139), para evaluar la diferencia de altura entre los días de tratamientos se realizó la prueba de Kruskal Wallis (Tabla 140).

Tabla 139. Pruebas de Normalidad para la altura del crecimiento en semillas de Lactuca Sativa empleando biol combinado al 5%

Prueba	Estadístico	Valor-p
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0.8797	0.0471

*El valor – p indica el nivel de significancia con el cual se toma la decisión del análisis.

Fuente: elaboración propia

Tabla 140. Prueba de Kruskal-Wallis para la altura del crecimiento en semillas de *Lactuca Sativa* empleando biol combinado al 5%

Dosis	Tamaño Muestra	Rango Promedio
1	3	2.0
10	3	5.00
20	3	8.0
30	3	11.00
35	3	14.00

Estadístico = 13.60 Valor-p = 0.0087

*El valor – p indica el nivel de significancia con el cual se toma la decisión del análisis.

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 140, se observa que el valor-P es menor que 0.05 determinando existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95.0% de confianza.

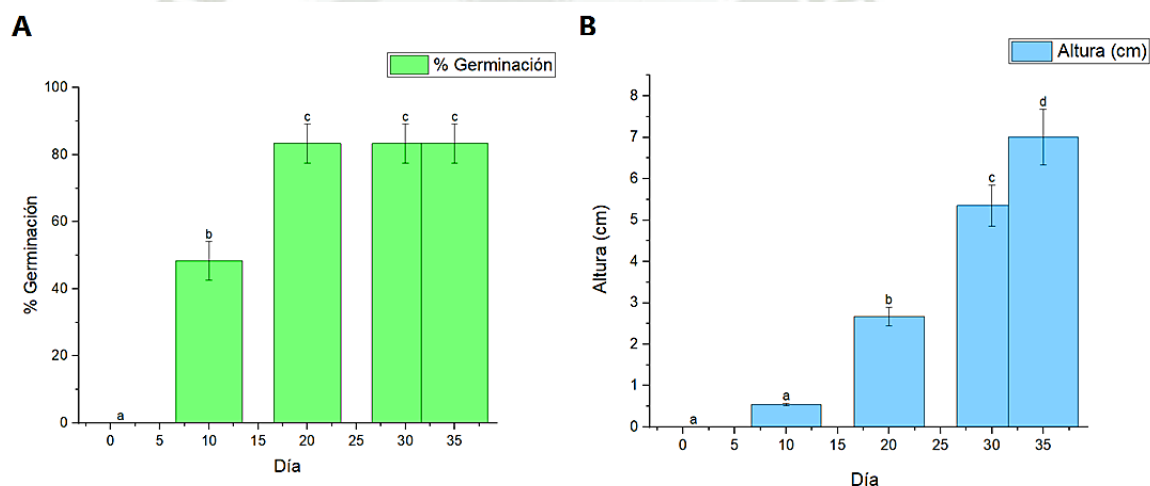


Figura 43. % de Germinación (A) y Altura (B) promedio en semillas de *Lactuca Sativa* (ml) empleando biol combinado al 5 % en función a diferentes.

Fuente: elaboración propia

En la Figura 43, del lado A del gráfico, podemos observar que, al emplear cualquiera de los días 20 ,30 y 35 se tendrá mayores porcentajes de germinación en semillas de *Lactuca Sativa*, por lo que, podríamos optar por estos días por presentar mayor porcentaje de germinación (%), permitiendo confirmar que existe una diferencia significativa entre los datos empleados.

En el lado B del gráfico, podemos observar que los tratamientos presentaron una diferencia significativa, así mismo, se puede determinar que, al emplear cualquiera de los días 10 y 20 se tendrá menor altura en el crecimiento de *Lactuca Sativa*, por lo que, podríamos optar por el día 35 por presentar mayor altura en el crecimiento de *Lactuca Sativa*.

○ **Tratamiento al 10 % - Germinación**

En la Tabla 141, se puede observar los resultados obtenidos al emplear biol combinado a una concentración al 5 % para la germinación de semillas de *Lactuca Sativa* determinando que en el día 20, 30 y 35 se obtuvo el mayor % de germinación de 86.67 ± 5.77 , mientras, en el día 1 no se observó germinación, por otra parte, en el día 10 se obtuvo el menor porcentaje de germinación de 63.33 ± 5.77 %, según estos análisis podemos determinar que en el día 20, 30 y 35 se obtendrá altos porcentajes de germinación de semillas de *Lactuca Sativa* del 87%.

Tabla 141. % de germinación promedio en semillas de *Lactuca Sativa* empleando biol combinado al 10%

Día	Recuento	Promedio \pm DE (%)	Coefficiente de Variación (%)
1	3	0 ^a	0
10	3	63.33 ± 5.77 ^b	9.12
20	3	86.67 ± 5.77 ^c	6.66
30	3	86.67 ± 5.77 ^c	6.66
35	3	86.67 ± 5.77 ^c	6.66

*DE indica desviación estándar entre las mediciones.

Fuente: elaboración propia

Al aplicar un análisis estadístico, se realizó la prueba de Shapiro Wilk, donde se obtuvo un valor de $p < 0.05$ mostrando que los tratamientos presentaron datos con una ausencia de distribución normal (Tabla 142), para evaluar la diferencia de germinación entre los días de tratamientos se realizó la prueba de Kruskal Wallis (Tabla 143).

Tabla 142. Pruebas de normalidad para la germinación en semillas de *Lactuca Sativa* empleando biol combinado al 10%

Prueba	Estadístico	Valor-p
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0.7046	0.00028

*El valor – p indica el nivel de significancia con el cual se toma la decisión del análisis.

Fuente: elaboración propia

Tabla 143. Prueba de Kruskal-Wallis para la germinación en semillas de *Lactuca Sativa* empleando biol combinado 10 %

Dosis	Tamaño Muestra	Rango Promedio
1	3	2.0
10	3	5.00
20	3	11.0
30	3	11.00
35	3	11.00

Estadístico = 11.72 Valor-p = 0.0196

*El valor – p indica el nivel de significancia con el cual se toma la decisión del análisis.

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 143, se observa que el valor-P es menor que 0.05 determinando existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95.0% de confianza.

○ **Altura**

En la Tabla 144, se puede observar que, al emplear biol ovino a una concentración al 5% en la altura del crecimiento de semillas de *Lactuca Sativa* determinando que en el día 35 se obtuvo mayor crecimiento de 7.34 ± 0.64 cm, por otra parte, en los días 20 y 30 se obtuvieron bajos valores de altura de 3.47 ± 0.35 y 6.07 ± 0.59 cm respectivamente, mientras, en el día 1 no se observó crecimiento y en el día 10 se obtuvo la menor altura de crecimiento de 1.1 ± 0.07 cm, según estos análisis podemos determinar que en el día 35 se obtuvo el mayor crecimiento

(cm) de semillas de *Lactuca Sativa* de 7.34 cm.

Tabla 144. Altura en semillas de *Lactuca Sativa* empleando biol combinado al 10 %.

Día	Recuento	Promedio ± DE (%)	Coefficiente De Variación (%)
1	3	0 ^a	0
10	3	1.1 ± 0.07 ^a	6.36
20	3	3.47 ± 0.35 ^b	9.95
30	3	6.07 ± 0.59 ^c	9.76
35	3	7.34 ± 0.64 ^d	8.71

*DE desviación estándar entre las mediciones.

Fuente: elaboración propia

Al aplicar un análisis estadístico, se realizó la prueba de Shapiro Wilk, donde se obtuvo un valor de $p \geq 0.05$ determinando que los tratamientos presentaron datos con una distribución normal (Tabla 145) así, para evaluar la diferencia de altura entre los días de tratamientos se realizó la prueba de ANOVA (Tabla 146).

Tabla 145. Pruebas de Normalidad para la altura del crecimiento en semillas de *Lactuca Sativa* empleando biol combinado al 10 %

Prueba	Estadístico	Valor-p
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0.8922	0.0724

*El valor – p indica el nivel de significancia con el cual se toma la decisión del análisis.

Fuente: elaboración propia

Tabla 146. Análisis de varianza para la altura del crecimiento en semillas de *Lactuca Sativa* empleando biol combinado al 10%

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-p
Entre grupos	118.021	4	29.5052	166.82	0.0000
Intra grupos	1.76867	10	0.176867		
Total (Corr.)	119.79	14			

*El valor – p indica el nivel de significancia con el cual se toma la decisión del análisis.

Fuente: elaboración propia

Tabla 146, análisis de varianza, debido a que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 5 variables con un nivel del 95.0% de confianza.

En la Figura 44, del lado A, podemos observar que, al emplear cualquiera de los días 20 ,30 y 35 se tendrá mayores porcentajes de germinación en semillas de *Lactuca Sativa*, por lo que, podríamos optar por estos días por presentar mayor porcentaje de germinación (%), permitiendo confirmar que existe una diferencia significativa entre los datos empleados

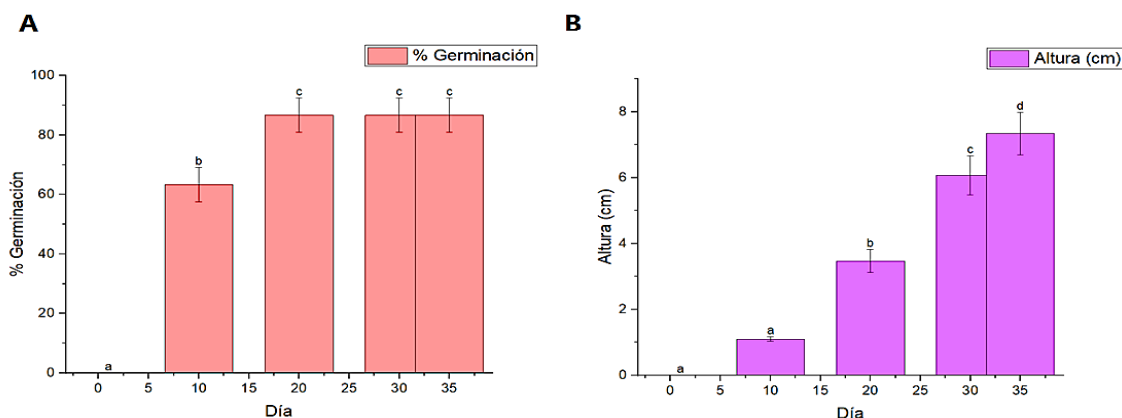


Figura 44. % de Germinación (A) y Altura (B) promedio en semillas de *Lactuca Sativa* (ml) empleando biol combinado al 10% en función a diferentes días

Fuente: elaboración propia

Del lado B, podemos observar que los tratamientos presentaron una diferencia significativa, así mismo, se puede determinar que, al emplear cualquiera de los días 10 y 20 se tendrá

menor altura en el crecimiento de *Lactuca Sativa*, por lo que, podríamos optar por el día 35 por presentar mayor altura en el crecimiento de *Lactuca Sativa*.

Comparación de T1-C vs T2-C, empleando Biol Combinado.

- Germinación

En la Tabla 147, se puede observar los resultados obtenidos al emplear biol compuesto a diferentes concentraciones para la germinación de semillas de *Lactuca Sativa* determinando que en el día 35 al emplear la concentración T2-C se obtuvo el mayor % de germinación de 86.67 ± 0 , mientras, que al trabajar con la concentración T1-C se obtuvo el menor % de germinación de 83.33 ± 0 . Según estos análisis podemos determinar que en el día 35 se obtendrá altos porcentajes de germinación de semillas de *Lactuca Sativa* del 87%.

Tabla 147. % de germinación en el día 35 empleando concentraciones de estiércol compuesto T1-C y T2-C

Concentración	Recuento	Promedio \pm DE (%)	Coefficiente de Variación (%)
T1-C	3	83.33 ± 0^a	0
T2-C	3	86.67 ± 0^b	0

Fuente: elaboración propia

Al aplicar un análisis estadístico, se realizó la prueba de Shapiro Wilk, donde se obtuvo un valor de $p < 0.05$ mostrando que los tratamientos presentaron datos con una ausencia de distribución normal (Tabla 148), luego para evaluar la diferencia de germinación con diferentes concentraciones de biol compuesto se realizó la prueba de Kruskal Wallis (Tabla 149).

Tabla 148. Pruebas de Normalidad para la germinación en semillas de *Lactuca Sativa* empleando biol combinado a concentraciones de T1-C Y T2-C.

Prueba	Estadístico	Valor-p
Estadístico W de Shapiro- Wilk	0.6826	0.0040

*El valor – p indica el nivel de significancia con el cual se toma la decisión del análisis.

Fuente: elaboración propia

Tabla 149. Prueba de Kruskal-Wallis para la germinación en semillas de *Lactuca Sativa* empleando biol combinado a concentraciones de T1-C Y T2-C

Concentraciones	Tamaño Muestra	Rango Promedio
T1-C	3	2.0
T2-C	3	5.0

Estadístico = 5.0

Valor-p = 0.0253

*El valor – p indica el nivel de significancia con el cual se toma la decisión del análisis.

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 149, se observa que el valor-P es menor que 0.05 determinando existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95.0% de confianza.

- Altura

En la Tabla 150, se puede observar los resultados obtenidos al emplear biol compuesto en la altura del crecimiento de semillas de *Lactuca Sativa* determinando en el día 35 al emplear la concentración T2-C se obtuvo mayor crecimiento de *Lactuca Sativa* de 7.34 ± 0 cm, mientras, que al trabajar con la concentración T1-C se obtuvo la menor altura de crecimiento de 7.05 ± 0 cm, según estos análisis podemos determinar que en el día 35 se obtuvo el mayor crecimiento (cm) de semillas de *Lactuca Sativa* de 7.34 cm.

Tabla 150. Altura promedio en semillas de Lactuca Sativa empleando biol compuesto con concentraciones de T1-C Y T2-C

Concentración	Recuento	Promedio \pm DE (%)	Coefficiente de Variación (%)
T1-C	3	7.05 \pm 0 ^a	0
T2-C	3	7.34 \pm 0 ^b	0

Fuente: elaboración propia

Al aplicar un análisis estadístico, se realizó la prueba de Shapiro Wilk, donde se obtuvo un valor de $p < 0.05$ mostrando que los tratamientos presentaron datos con una ausencia de distribución normal (Tabla 151), luego para evaluar la diferencia de altura con diferentes concentraciones de biol compuesto se realizó la prueba de Kruskal Wallis (ver Tabla 152).

Tabla 151. Pruebas de Normalidad para la altura promedio en semillas de Lactuca Sativa empleando biol combinado a concentraciones de T1-C y T2-C

Prueba	Estadístico	Valor-p
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0.6826	0.0040

*El valor – p indica el nivel de significancia con el cual se toma la decisión del análisis.

Fuente: elaboración propia

Tabla 152. Prueba de Kruskal-Wallis para la altura promedio en semillas de Lactuca Sativa empleando biol combinado a concentraciones de T1-C y T2-C

Concentraciones	Tamaño Muestra	Rango Promedio
T1-C	3	2.0
T2-C	3	5.0

Estadístico = 5.0 Valor-p = 0.0253

*El valor – p indica el nivel de significancia con el cual se toma la decisión del análisis.

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 152, se observa que el valor-P es menor que 0.05 determinando existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95.0% de confianza.

Tabla 153. Producción promedio de germinación y altura de la planta de semillas de *Lactuca Sativa*, con el Control.

CONTROL BIOL

TIEMPO	%GERMINACION		ALTURA	
	%	DS	PROMEDIO DE ALTURA	DS
0	0	0	0	0
5	0	0	0	0
10	33.33333	5.773503	0.296667	0.030551
15	36.66667	5.773503	0.68	0.111355
20	36.66667	5.773503	1.13	0.111355
25	46.66667	5.773503	1.83	0.176163
30	53.33333	5.773503	2.47	0.132288
35	56.66667	5.773503	3.123333	0.076376

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 153, se muestra detalladamente las características iniciales de germinación y altura de las semillas de *Lactuca Sativa*, con el control en donde se evidenció desde el décimo día un 33.3 % de germinación y una altura de la planta promedio de 0.30 cm, alcanzando hasta el día 35 un 56.7 % de germinación y una altura promedio de 3.12 cm.

En las gráficas 45 y 46 a continuación se observa la comparación de la producción promedio de los tipos de biol obtenidos (bovino, ovino y combinado) tanto de % de germinación y altura de la planta de *Lactuca Sativa* con el tratamiento 1 (T1) en un lapso de 35 días.

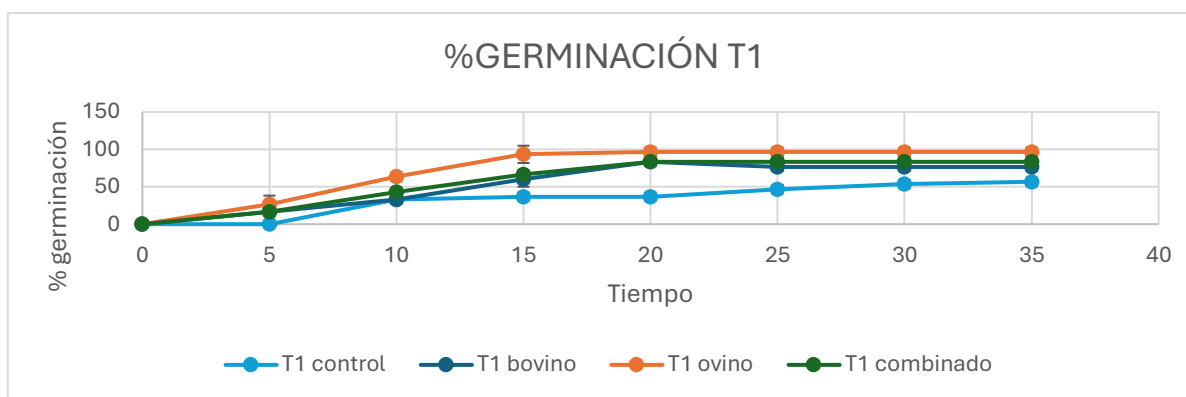


Figura 45. Comparación del % de germinación de *Lactuca Sativa* con el T1 en los tipos de biol (bovino, ovino y combinado) y el control.

Fuente: elaboración propia

Según la Figura 45, se deduce que el biol ovino obtuvo el mayor % de germinación promedio para el tratamiento 1 con 5% de biol, seguido del biol bovino y combinado con resultados casi similares y el control obtuvo el menor % de germinación de *Lactuca Sativa* en un lapso de 35 días.

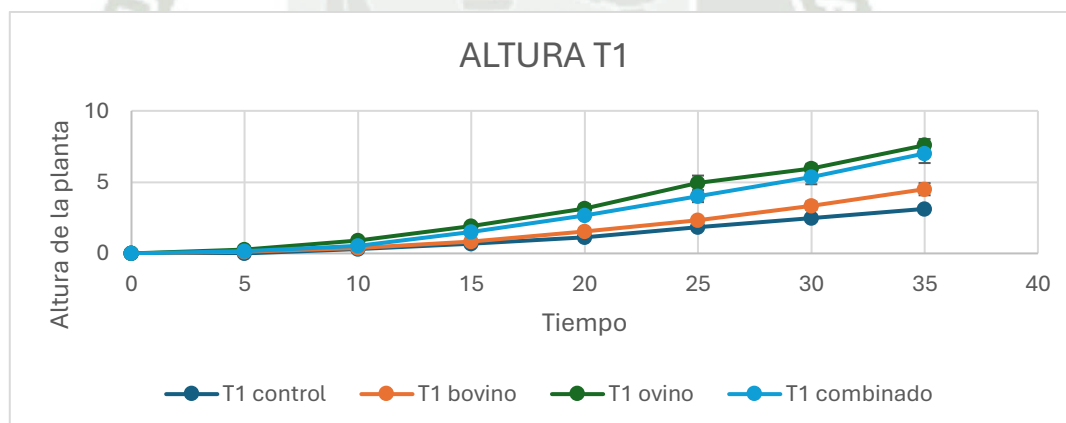


Figura 46. Comparación de la altura de la planta *Lactuca Sativa* con el T1 en los tipos de biol (bovino, ovino y combinado) y el control.

Fuente: elaboración propia

Según la Figura 46, se deduce que el biol ovino obtuvo la mayor altura de la planta promedio para el tratamiento 1 con 5% de biol, seguido del biol combinado y bovino, el control junto con el biol bovino obtuvo la menor altura de *Lactuca Sativa* en un lapso de 35 días.

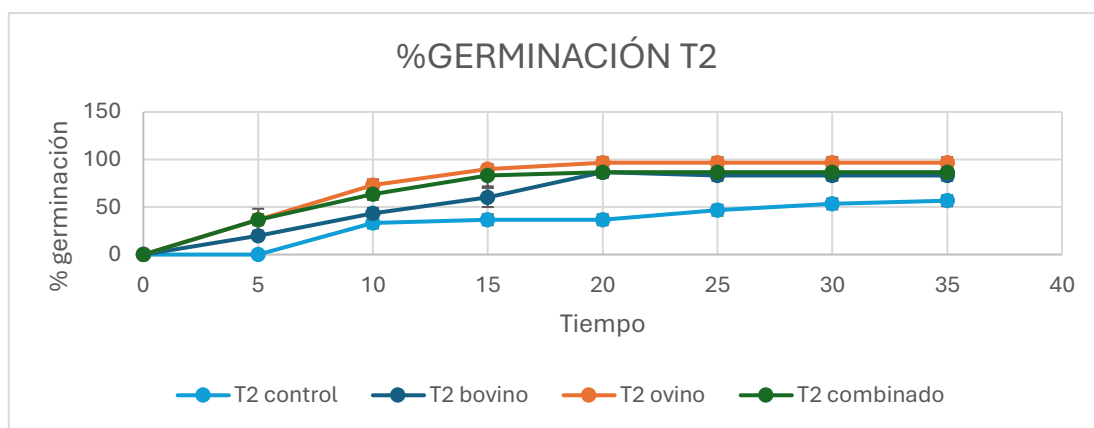


Figura 47. Comparación del % de germinación de *Lactuca Sativa* con el T2 en los tipos de biol (bovino, ovino y combinado) y el control.

Fuente: elaboración propia

Según la Figura 47, se deduce que el biol ovino obtuvo el mayor % de germinación promedio para el tratamiento 2 con 10 % de biol, seguido del biol combinado y bovino, además el control obtuvo el menor % de germinación de *Lactuca Sativa* dentro en un lapso de 35 días.

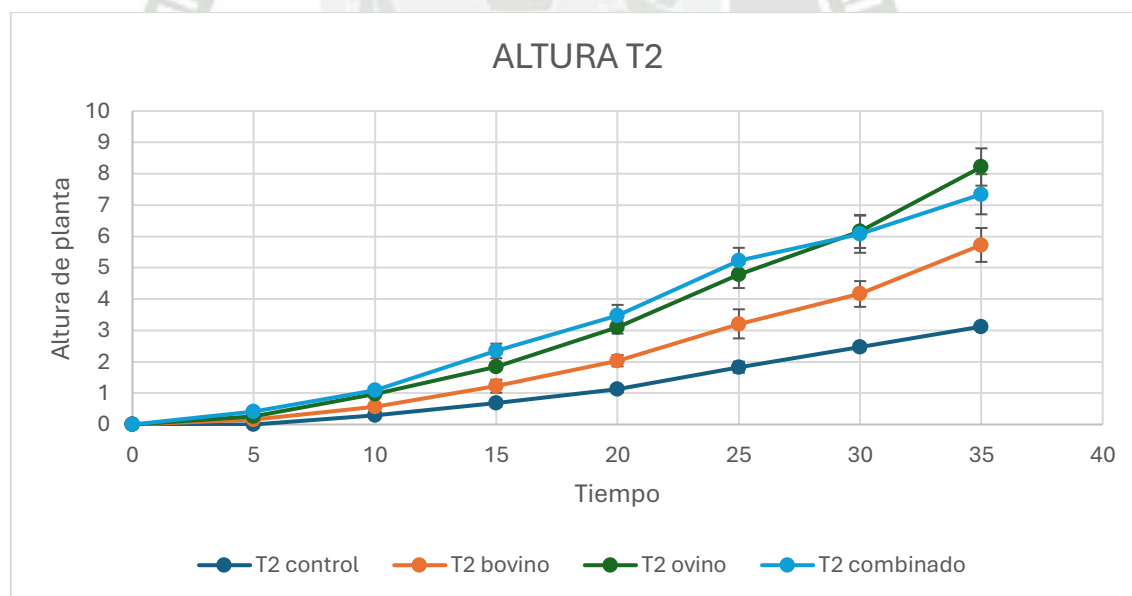


Figura 48. Comparación de la altura de la planta *Lactuca Sativa* con el T2 en los tipos de biol (bovino, ovino y combinado) y el control.

Fuente: elaboración propia

Según la Figura 48, se deduce que el biol ovino y combinado obtuvieron la mayor altura de la planta promedio para el tratamiento 2 con 10 % de biol, seguido del biol bovino y el control obtuvo la menor altura de *Lactuca Sativa* dentro en un lapso de 35 días.

3.5.4. Control

En la Tabla 154, se puede observar los resultados obtenidos al emplear el control de biol para la germinación de semillas de *Lactuca Sativa* determinando que en el día 35 se obtuvo el mayor % de germinación de 56.67 ± 5.77 , mientras, en el día 1 no se observó germinación, por otra parte, en el día 10 se obtuvo el menor porcentaje de germinación de 33.33 ± 5.77 %, según estos análisis podemos determinar que en el día 35 se obtendrá altos porcentajes de germinación de semillas de *Lactuca Sativa* del 57%.

Tabla 154. % de germinación promedio en semillas de *Lactuca Sativa* empleando biol control.

Día	Recuento	Promedio \pm DE (%)	Coefficiente de Variación (%)
1	3	0 ^a	0
10	3	33.33 ± 5.77 ^b	17.32
20	3	36.67 ± 5.77 ^b	15.75
30	3	53.33 ± 5.77 ^c	10.83
35	3	56.67 ± 5.77 ^c	10.19

Fuente: elaboración propia

Al aplicar un análisis estadístico, se realizó la prueba de Shapiro Wilk, donde se obtuvo un valor de $p < 0.05$ mostrando que los tratamientos presentaron datos con una ausencia de distribución normal (Tabla 155), para evaluar la diferencia de germinación entre los días de tratamientos se realizó la prueba de Kruskal Wallis (Tabla 156).

Tabla 155. Pruebas de Normalidad para la germinación en semillas de *Lactuca Sativa* empleando control

Prueba	Estadístico	Valor-p
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0.8591	0.0235

*El valor – p indica el nivel de significancia con el cual se toma la decisión del análisis.

Fuente: elaboración propia

Tabla 156. Prueba de Kruskal-Wallis para la germinación en semillas de *Lactuca Sativa* empleando biol control

Dosis	Tamaño Muestra	Rango Promedio
1	3	2.0
10	3	6.00
20	3	7.0
30	3	12.00
35	3	13.00

Estadístico = 12.76 Valor-p = 0.0113

*El valor – p indica el nivel de significancia con el cual se toma la decisión del análisis.

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 156, se observa que el valor-P es menor que 0.05 determinando existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95.0% de confianza.

○ **Altura**

En la Tabla 157, se puede observar los resultados obtenidos al emplear biol control en la altura del crecimiento de semillas de *Lactuca Sativa* determinando que en el día 35 se obtuvo mayor crecimiento de 3.12 ± 0.08 cm, por otra parte, en los días 20 y 30 se obtuvieron bajos valores de altura de 1.13 ± 0.11 y 2.47 ± 0.13 cm respectivamente, mientras, en el día 1 no se observó crecimiento y en el día 10 se obtuvo la menor altura de crecimiento de 0.30 ± 0.03 cm, según estos análisis podemos determinar que en el día 35 se obtuvo el mayor crecimiento (cm) de semillas de *Lactuca Sativa* de 3.12 cm.

Tabla 157. Altura promedio en semillas de *Lactuca Sativa* empleando biol control

Día	Recuento	Promedio \pm DE (%)	Coefficiente de Variación (%)
1	3	0 ^a	0
10	3	0.30 ± 0.03 ^b	10.30

20	3	1.13 ± 0.11 ^c	9.85
30	3	2.47 ± 0.13 ^d	5.36
35	3	3.12 ± 0.08 ^e	2.46

Fuente: elaboración propia

Al aplicar un análisis estadístico, se realizó la prueba de Shapiro Wilk, donde se obtuvo un valor de $p < 0.05$ mostrando que los tratamientos presentaron datos con una ausencia de distribución normal (Tabla 158), para evaluar la diferencia de altura entre los días de tratamientos se realizó la prueba de Kruskal Wallis (Tabla 159).

Tabla 158. Pruebas de Normalidad para la altura del crecimiento en semillas de Lactuca Sativa empleando biol control.

Prueba	Estadístico	Valor-p
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0.8567	0.0216

*El valor – p indica el nivel de significancia con el cual se toma la decisión del análisis.

Fuente: elaboración propia

Tabla 159. Prueba de Kruskal-Wallis para la altura del crecimiento en semillas de Lactuca Sativa empleando biol control

Dosis	Tamaño Muestra	Rango Promedio
1	3	2.0
10	3	5.00
20	3	8.0
30	3	11.00
35	3	14.00

Estadístico = 13.60 Valor-p = 0.0087

*El valor – p indica el nivel de significancia con el cual se toma la decisión del análisis.

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 159, se observa que el valor-P es menor que 0.05 determinando existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95.0% de confianza.

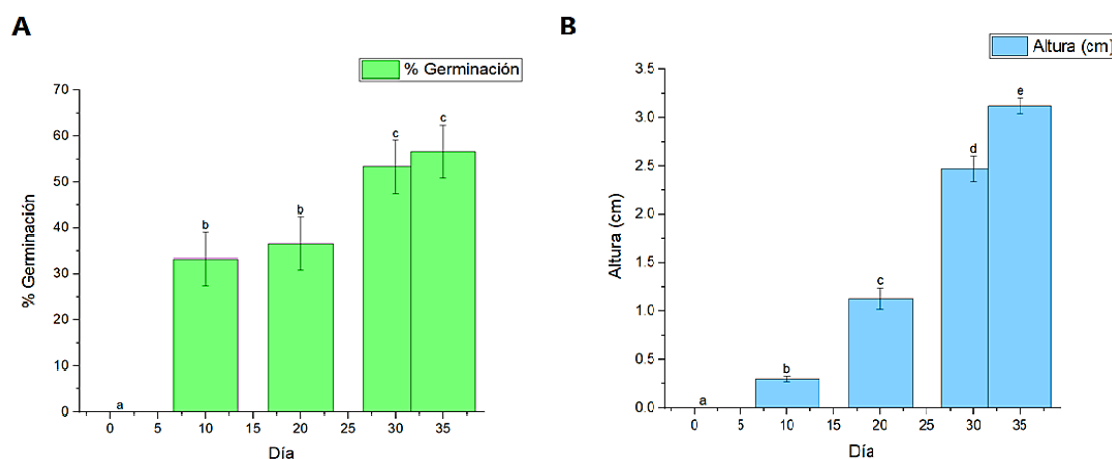


Figura 49. % de Germinación (A) y Altura (B) promedio en semillas de *Lactuca Sativa* empleando biol control en función a diferentes días

Fuente: elaboración propia

En la Figura 49, del lado A del gráfico, podemos observar que, al emplear cualquiera de los días 30 y 35 se tendrá mayores porcentajes de germinación en semillas de *Lactuca Sativa*, por lo que, podríamos optar por estos días por presentar mayor porcentaje de germinación (%), permitiendo confirmar que existe una diferencia significativa entre los datos empleados.

En la Figura 49, del lado B del gráfico, podemos observar que los tratamientos presentaron una diferencia significativa, así mismo, se puede determinar que, al emplear cualquiera de los días 10 y 20 se tendrá menor altura en el crecimiento de *Lactuca Sativa*, por lo que, podríamos optar por el día 25 por presentar mayor altura en el crecimiento de *Lactuca Sativa*.

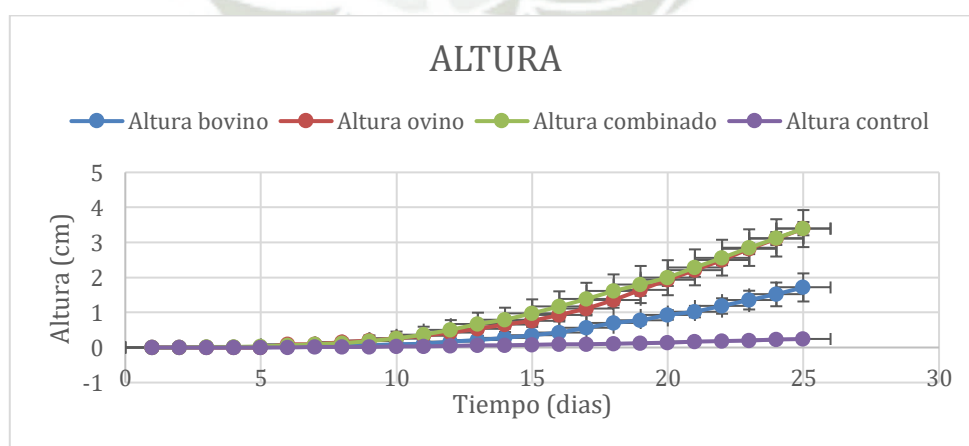


Figura 50. Comparación altura vs Tiempo de altura del efecto del biol en *Lactuca Sativa*.

Fuente: elaboración propia

En la Figura 50, para la determinación de la calidad del biol obtenido se realizó una comparación de altura de las plántulas de *Lactuca Sativa*, por un periodo de 35 días, según se observa el uso de biol combinado como también el de ovino, son los que producen mayor altura al final del tiempo de evaluación.

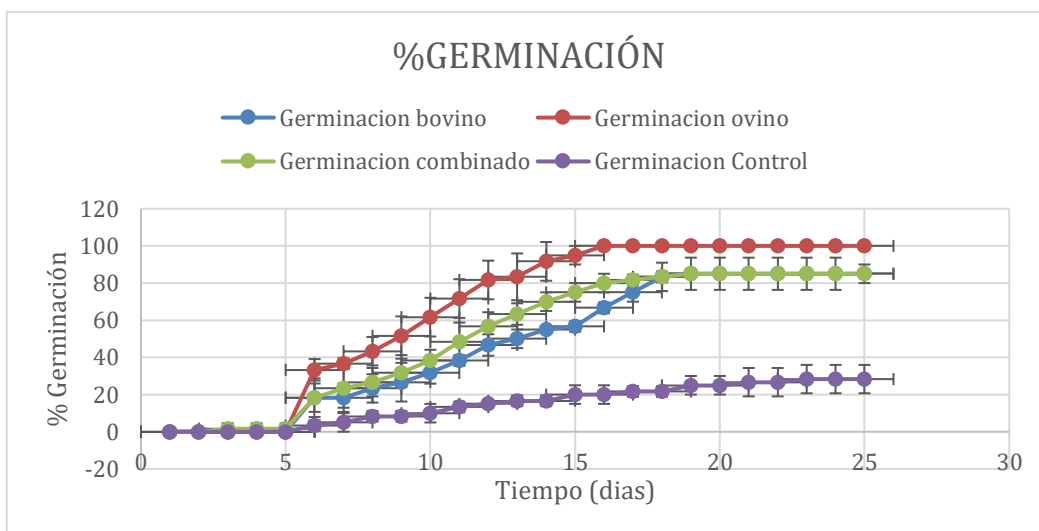


Figura 51. Comparación altura vs Tiempo de germinación del efecto del biol en *Lactuca Sativa*.

Fuente: elaboración propia

En la Figura 51, para la determinación de la calidad del biol obtenido se realizaron ensayos de germinación, en donde se evaluó el crecimiento de raíces en semillas de *Lactuca Sativa*, por un periodo de 35 días, donde se evidenció un inicio de germinación para los tres sustratos a partir de la segunda semana, teniendo como resultado al biol ovino que en un periodo de 25 días tuvo un porcentaje de 100% de germinación, de las semillas de *Lactuca Sativa*.



Figura 52. Germinación de semillas de *Lactuca Sativa*

Fuente: elaboración propia

En la Figura 52, se observa la germinación y crecimiento de semillas de *Lactuca Sativa*. Con estos resultados se puede asimilar a los hallazgos de Cotrina Cabello et al. (50) en su investigación obtiene resultados efectivos a una concentración al 10% de biol, en la que también presento una mayor altura de la planta comparado con el 5%, además de presentar un mayor diámetro y peso de las lechugas. En otro estudio según Medina Vásquez et al. (39), sus resultados de biol a base de estiércol vacuno a una concentración de 10% y evaluando así mismo su potencial reemplazo a las soluciones hidropónicas estándar A y B, donde se obtuvo una mayor altura de la longitud foliar, radicular y peso comparada con el 5% del biol, pero la mejor concentración del biol fue al 20%, lo que confirmo la posibilidad de reemplazar la solución hidropónica nutritiva comúnmente utilizada por el bioabono biol. Por lo que se puede concluir que a una mayor concentración de biol bovino la planta incrementara su altura respectiva.

Con respecto al porcentaje de Germinación y porcentaje de altura para una dosis al 5%, y para una dosis al 10% de biol, los resultados muestran que a una dosis de 10% de biol ovino, los porcentajes de germinación como de altura son más altos, por lo tanto, tendría un impacto positivo en el crecimiento de la plántula.

En su investigación Amante et al. (28), en donde después de una digestión anaeróbica de estiércol de ovino para la producción de biogás y biol, se reporta que el estiércol ovino como

materia prima, su calidad va a depender de las cantidades macro y micro nutrientes presentes en el lodo. En su investigación recalca que, aunque la cantidad de nutrientes es menor, su producción es diaria y en cantidades apreciables, esto hace que su potencial como abono resulte de manera interesante, por la calidad del mismo. Amante et al. (28), citando a la investigación de la Universidad de León (51), nos habla de los resultados exitosos del uso de lodos y resalta la ventaja de este uso por la presencia de nitrógeno en forma amoniaco y las ventajas de usar estiércol ovino.

Por otro lado, Medina V. (39) en su investigación nos menciona que el efecto del biol ovino a la planta de cebolla, incrementa significativamente de manera longitudinal el crecimiento de hojas. Se hizo una prueba al 5 y 10 % de aplicación de biol al área foliar del cultivo, llegando a la conclusión que con el 10% de biol la interacción es más significativa. Los resultados obtenidos por Medina V. (39), con estiércol ovino podrían atribuirse a los nutrientes asimilables que contiene a la incorporación de materia orgánica, y por su aporte en la mejora de la estructura del suelo, para facilitar la infiltración y la capacidad de retención del agua.

En comparación con la aplicación de biol de estiércol bovino, el biol ovino, presenta porcentajes de germinación y altura en menos tiempo que el biol bovino, notando así el rendimiento de biol que existe entre ambos y resaltando el efecto positivo que está por encima del de biol bovino.

Con respecto al porcentaje de Germinación, y de altura para una dosis al 5%, y para una dosis al 10% de biol, los resultados muestran que a una dosis de 10% de biol combinado, los porcentajes de germinación como de altura son más altos, por lo tanto, tendría un impacto positivo en el crecimiento de la plántula.

Según Valdez et al. (49), en su investigación los porcentajes de producción de biol, usando co-digestion de estiércoles producen mejora en las características de la tierra, y que al igual que los otros bioles la concentración más adecuada para su uso es el 10%.

Carhuancho et al. (52), en su investigación, nos dice que la combinación de biol presenta un porcentaje de germinación de menor al 10%, en semillas de maíz. Asimismo, recalca la importancia del uso de la dosis correcta de biol, antes de aplicarla en la planta, para evitar riesgos de fitotoxicidad, no obstante, menciona que los porcentajes a evaluar son menores al

20%, por lo que el porcentaje aplicado y posterior evaluación química, nos confirmarían realmente el uso de nuestros biol, que por ahora tiene buen rendimiento en cuanto a la germinación y altura de las plantas.

En comparación con los otros bioles vacuno y ovino, el biol combinado al igual que el bovino presentan un porcentaje de germinación y altura buenos, no obstante, estos son superados el biol a partir de estiércol ovino que en la misma cantidad de tiempo presento mejores resultados.

3.5.5. *Determinación de Coliformes totales*

La determinación de coliformes totales se hizo empleando el método del Número Más Probable (NMP), este se realizó en el laboratorio E-406 de la Universidad Católica De Santa María, para ello se siguió la metodología descrita por Branda LN et al. (53) Los resultados obtenidos fueron interpretados como positivos, los tubos que presentaba turbidez el cual indicaba crecimiento, así mismo también se observó la producción de gas después de sus respectivas incubaciones. Por otro lado, los tubos en las que no se observó ninguna de las cualidades ya mencionadas fueron considerados negativos tal y como lo muestra en su metodología Branda LN et al (53). Para el reporte de resultados se usó la tabla del **anexo 3** del NMP.

Tabla 160. Resultados del método del NMP

24h				
BIOL BOVINO				
*POS	9.9	10	9	NMP/ml
LACTOSADO	1	0	0	4
ROTHER	1	1	0	7
BIOL OVINO				
*POS	9.9	10	9	NMP/ml
LACTOSADO	1	1	0	7
ROTHER	1	0	0	4

BIOL COMBINADO				
*POS	9.9	10	9	NMP/ml
LACTOSADO	0	1	0	3+
ROTHER	1	0	0	4
48h				
BIOL BOVINO				
*POS	9.9	10	9	NMP/ml
LACTOSADO	2	1	0	15
ROTHER	2	0	0	9
BIOL OVINO				
*POS	9.9	10	9	NMP/ml
LACTOSADO	2	2	0	21
ROTHER	1	0	0	4
BIOL COMBINADO				
*POS	9.9	10	9	NMP/ml
LACTOSADO	1	1	0	7
ROTHER	2	2	0	21

Fuente: elaboración propia

Los resultados mostrados en la Tabla 160, después de su evaluación en pruebas bioquímicas, determinaron la presencia de microorganismos biológicos, mediante el método del NMP. En investigaciones como las de Medina et al. (39), los bioles obtenidos a partir de estiércol y rastros, también fueron sometidos a las mismas evaluaciones, recalcando así que la presencia de microorganismos patógenos en un abono orgánico como el nuestro, podría implicar riesgos a la salud de las personas, calidad del suelo y de los cultivos.

Mediante las pruebas bioquímicas Citrato, MR/VP, SIM, TSI, LIA y Urea, para la determinación de coliformes, se logró identificar por sus características la presencia de dos microorganismos: *Staphylococcus* y *Klebsiella*.

En investigaciones como las de Branda et al. (53), fue utilizada la tabla del Número más probable, el cual ayudó a determinar el NMP de microorganismos presentes en las muestras de biol de dicha investigación, la presencia de *klebsiella*, *proteus spp*, *citrobacter frundil*, entre otros, que a través de un estudio se reveló que la misma carga bacteriana se tuvo desde el inicio hasta el final, no encontrando diferencias significativas, teniendo como resultado un efecto negativo final, ya que según las normas nacionales directas por la secretaría del ambiente que depende la utilización del agua exactamente la que se usa para irrigación, presenta un límite aceptable de coliformes, teniendo como resultado la evaluación de los tipos bioles a emplear. La investigación sugiere la continuidad de dicha investigación ya que el clima fue un parámetro importante durante el proceso de degradación de la presencia y desarrollo de los microorganismos.

Por otro lado, Medina et al. (39), repite el mismo método para la determinación de coliformes totales. Los resultados que presentan en dicha investigación demuestran que, a pesar de ser utilizado el estiércol fresco de ovino sin previo tratamiento, presenta valores de coliformes relativamente bajos en referencia a otros tipos de estiércoles que se pueden emplear, así como lo muestra en su investigación Castillo et al. (60) & Peralta et al. (54).

Según el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM (55), Aprobación de los estándares Nacionales de calidad ambiental para agua; Se observa los parámetros para riego de vegetales en la categoría 3 (**ver segundo cuadro Anexo 3**), en biológicos, se observa los valores permisibles de estos microorganismos biológicos, mediante el método del NMP. Comparado con dicho cuadro, nuestros valores están por debajo al valor considerado como contaminante.

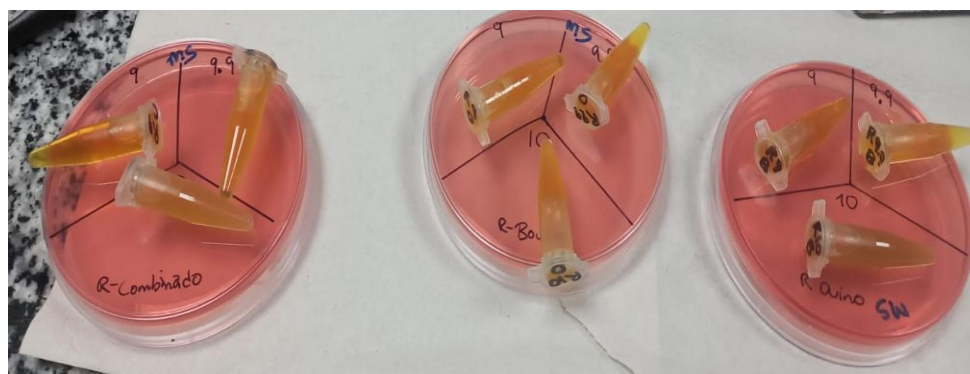


Figura 53. Determinación del Método del número más probable.

Fuente: elaboración propia

3.5.6. *Determinación de composición química del biol*

Para el análisis de la composición química se mandaron las muestras para dichos análisis al laboratorio Lavoisier, donde se procedió a evaluar los siguientes parámetros: conductividad eléctrica, concentración de carbono y nitrógeno y materia orgánica, en la Tabla 161, se muestran los siguientes resultados.

Tabla 161. Análisis Químico del biol

Biol	Materia Orgánica (%)	Carbono (%)	Nitrógeno (%)	Conductividad Eléctrica (µS/)
Bovino	12.72	7.38	0.32	26.16
Ovino	15.46	8.97	0.41	28.76
Combinado	13.8	8.01	0.35	27.13

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 161, se observa que los tres sustratos en porcentaje de Nitrógeno tienen valores considerados bajos, ya que como Valdez et al. (49), menciona en su investigación, es parte de los nutrientes mayores, los cuales son los primeros en ser extraídos por las plantas, según Asociación Especializada para el Desarrollo Sostenible (56), citado por Carhuancho et al.

(52), nos mencionan que mientras más alto sea el valor de nitrógeno entre otros elementos es mucho mejor.

En cuanto a la conductividad eléctrica, Magaña et al. (26), en su investigación nos dice que, si el valor de este supera los 15 dS/cm, podrían ser dañinos, haciendo que otros nutrientes no se encuentren disponibles para las plantas. No obstante, a estas afirmaciones nuestra investigación concuerda por lo dicho por Valdez et al. (49), ya que el crecimiento evaluado durante 30 a 35 días, mostro que nuestro biol, específicamente biol ovino dieron buenos resultados en la práctica en donde el crecimiento de la plántula fue muy notorio.

Por otro lado, Jara et al. (57), los valores que reporta en su investigación en conductividad eléctrica son más altos que los nuestros, pero más bajo por mucho que otras investigaciones, por lo que al igual que la bibliografía revisada los bioles obtenidos incluyendo los nuestros presentan baja salinidad, favoreciendo su aplicación directa en agricultura orgánica.

CONCLUSIONES

Se estableció las condiciones experimentales para el avance de los biodigestores tipo Batch a nivel de laboratorio. Donde la producción máxima de biogás obtenida durante la primera fase en la evaluación de concentraciones, mostraron que emplear pretratamientos previos a la puesta en marcha de los biodigestores, muestra mayor rendimiento de biogás producido. Se determinó las mejores concentraciones para su previa evaluación de mejor rendimiento de producción de biogás para la segunda fase, resultando ser las concentraciones E1 (25% de estiércol, 25% de rastrojo y 50 % de agua) con mejor producción de biogás para estiércol bovino y ovino. Y el sistema E2 (concentraciones de 50% de estiércol, 25% de rastrojo y 25 % de agua), siendo la concentración con producción de volumen mayor para el estiércol combinado.

Se evaluó la influencia del tratamiento con melaza y con el producto EM-1 en la generación de biogás. Donde la producción máxima de biogás obtenido en la segunda fase tuvo una mejor producción de biogás con el tratamiento de melaza con 413.33 ± 378.46 mL en el tratamiento de estiércol combinado. El producto EM-1 no mostró el efecto positivo esperado sobre la producción y calidad del biogás, en contraste con lo reportado en diversas investigaciones donde se evidencian incrementos en el potencial bioquímico de metano y la estabilidad del proceso, lo cual podría deberse a la composición microbiana inicial de los sustratos o a condiciones de adaptación insuficientes. Por el contrario, la melaza demostró un efecto favorable, promoviendo una mayor producción de biogás y una mejor calidad del biol, posiblemente por su aporte de compuestos fácilmente biodegradables que estimulan la actividad de las bacterias metanogénicas.

Para la tercera fase se evaluó el PBM (Potencial Bioquímico de Metano) generado de la producción de biogás, se evidencio que el tratamiento con estiércol bovino obtuvo un rendimiento en generación de biogás con melaza junto con los resultados obtenidos con el volumen en las probetas, donde se obtuvo resultados que muestran que el sistema combinado tiene mayor rendimiento en producción de biogás como se evidencio en las bolsas y en las probetas. En consecuencia, de los resultados obtenidos, de acuerdo con el volumen de CO₂ obtenido en cada una de las probetas, y el gas acumulado en la bolsa se procedió con la evaluación de la composición química y comparación de la calidad de biogás obtenido empleando el equipo BIOGAS 5000 GEOTECH donde se obtuvo un 61% de metano con el

tratamiento de combinado, concluyendo así que el combinado tiene mayor producción de biogás.

Se determinó la calidad y evaluó el biol producido, teniendo como resultados que los tres tipos de biol a partir de los tratamientos con estiércol bovino, ovino y combinado, tienen buenos rendimientos mostrando valores altos para cada tratamiento de biol (5% y 10%) en porcentaje de germinación y altura de la planta. El biol a partir de estiércol ovino presentó mayor rendimiento del % de germinación con 96.7 ± 5.77 % para ambos tratamientos (5% y 10%) y la altura de la planta de *Lactuca sativa* con el tratamiento del 10% de biol obtuvo 8.21 ± 0.59 cm durante 35 días. Al realizar los análisis físicoquímicos y microbiológicos de cada biol se determinó la buena calidad del biol ovino obtenido a diferencia de los otros tipos de biol. Esto indica que el biol obtenido puede ser utilizado eficazmente como fertilizante orgánico, aportando nutrientes esenciales y promoviendo prácticas agrícolas sostenibles.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar un análisis microbiológico preliminar de los sustratos (estiércol bovino, ovino y rastrojos) antes de los ensayos de PBM, para identificar la presencia y abundancia relativa de grupos funcionales relevantes (hidrolíticos, acidogénicos y metanógenos) y posibles microorganismos indeseables. Este análisis permitirá optimizar la selección del inóculo, ajustar relaciones C:N o pretratamientos, y evaluar la compatibilidad del producto EM-1 con la comunidad microbiana presente.
- Se recomienda realizar un análisis cuantitativo de la materia orgánica total y los sólidos volátiles presentes en cada uno de los sustratos evaluados (estiércol ovino, bovino y su mezcla), con el fin de optimizar la producción de biogás y estimar la eficiencia energética del proceso anaerobio. Asimismo, se sugiere llevar a cabo ensayos comparativos sin la adición de melaza, y activar el producto EM-1 en condiciones controladas y estrictamente anaerobias, para evaluar su efecto real sobre la actividad microbiana y la generación de metano. Esta aproximación permitirá discriminar el impacto de cada variable sobre el rendimiento del sistema, contribuyendo al diseño de estrategias más eficientes y sostenibles para el aprovechamiento energético de residuos orgánicos.
- Se recomienda inyectar nitrógeno en las bolsas recolectoras de biogás como estrategia para preservar las condiciones anaerobias durante el almacenamiento para minimizar la exposición del biogás a procesos oxidativos que podrían alterar su composición y reducir su poder calorífico. además de mantener la integridad del metano producido, mejorar la estabilidad del sistema de digestión anaerobia y reducir el riesgo de proliferación de microorganismos aerobios que comprometan la eficiencia energética del biogás.
- Se recomienda realizar análisis de fósforo (P) y potasio (K) en el biol producido y en los sustratos iniciales, con el fin de determinar su valor fertilizante y evaluar posibles acumulaciones o pérdidas durante el proceso de digestión anaerobia.
- Se recomienda incluir, para cada tipo de sustrato (estiércol bovino, ovino y combinado), un control sin adición de melaza ni EM-1, con el objetivo de cuantificar la producción basal de biogás y poder comparar el efecto de los aditivos en cada sustrato.

- Se recomienda evaluar el efecto de distintas dosis de EM-1 para identificar la respuesta óptima y analizar el balance energético y los beneficios ambientales para valorar la viabilidad del uso de EM-1.
- Se recomienda considerar la escalabilidad de los resultados hacia sistemas piloto o semiindustriales y proponer estudios futuros que incluyan co-digestión y caracterización microbiana para comprender mejor los efectos del EM-1. Además de documentar protocolos y reforzar medidas de bioseguridad en el manejo de estiércoles y digestatos.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Zamora I. Impacto Ambiental debido a Actividades Ganaderas. Revista FDM Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí [Internet]. 2022; Disponible en: <https://revistafdm.ulead.edu.ec/wp-content/uploads/2023/01/Impacto-Ambiental-debido-a-Actividades-Ganaderas.pdf>
2. González P. Efecto del cambio climático sobre la ganadería [Internet]. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile; 2020. Disponible en: https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/28543/1/Efecto_del_CC_sobre_la_Ganaderia.pdf
3. Haro J, Gómez C. Mitigación de emisiones provenientes de la ganadería en la región andina. Lima: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura; 2018.
4. Hernández O, Alcántara A, González L. De estiércol de ganado a fuente de energía. Ecofronteras. 1 de enero de 2018;22:26-7.
5. Castro-Molano L del P, Pinales-Ramírez YA, Escalante-Hernández H. Co-digestión anaerobia de estiércoles bovino, porcino y equino como alternativa para mejorar el potencial energético en digestores domésticos. Revista ION. diciembre de 2019;32(2):29-39.
6. León Torres CA, Nomberto Rodríguez C, Mendoza Avalos GA, Bardales Vásquez CB, Cabos Sánchez J, Barrena Gurbillón MA. Diseño e implementación de una planta piloto de producción de Biogás, Biol y Biosol. Arnaldoa. septiembre de 2019;26(3):1017-32.
7. Elbasher MMA, Shao Y, Wang L, Chen D, Zhong H. Effects of organic amendments on soil properties and growth characteristics of Melon (*Cucumis melo* L.) under saline irrigation. International Journal of Agricultural and Biological Engineering. 13 de octubre de 2021;14(5):123-9.
8. Alvarado SJD, Maldonado GJZ, Briones GAB, Moreira-Mendoza CA. Evaluación de los residuos agroindustriales con potencial para biocombustibles. Revista Colón Ciencias, Tecnología y Negocios. 1 de agosto de 2023;10(2):53-73.
9. Casas-Jiménez PM, Escudero-González CA, Martínez-Guerrero TZ, Mendoza-Díaz M del C, Gutiérrez-Ortega DNL, Ramos-Ramírez DE. Procesos sustentables para la producción de biocombustibles: a review. JÓVENES EN LA CIENCIA [Internet]. 7 de

septiembre de 2021 [citado 4 de septiembre de 2025];10. Disponible en:
<https://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/3454>

10. Sotomonte K. Análisis de los beneficios que obtiene el medio ambiente a partir de la producción de biocombustibles [Internet] [Trabajo de especialización]. [Bogotá]: Universidad ECCI; 2021. Disponible en:
<https://repositorio.ecci.edu.co/server/api/core/bitstreams/f8aff76c-3c43-44a6-89fd-b8ca49a1a8c0/content>

11. Rafiee A, Khalilpour KR, Prest J, Skryabin I. Biogas as an energy vector. *Biomass and Bioenergy*. 1 de enero de 2021;144:105935.

12. Kougias PG, Angelidaki I. Biogas and its opportunities—A review. *Front Environ Sci Eng*. 30 de abril de 2018;12(3):14.

13. Barrera GM, López MM, López AT. Bioetanol, biodiésel y biogás: materias primas, procesos de producción y aplicaciones. *Cienciabiota*. 2023;1974(74):116-46.

14. Yuan ZL, Gerbens-Leenes PW. Biogas feedstock potentials and related water footprints from residues in China and the European Union. *Science of The Total Environment*. 1 de noviembre de 2021;793:148340.

15. Felca ATA, Barros RM, Tiago Filho GL, dos Santos IFS, Ribeiro EM. Analysis of biogas produced by the anaerobic digestion of sludge generated at wastewater treatment plants in the South of Minas Gerais, Brazil as a potential energy source. *Sustainable Cities and Society*. 1 de agosto de 2018;41:139-53.

16. Torres E. La transformación de los residuos, una clave para la producción de energía. *Ambiociencias*. 16 de enero de 2024;93-110.

17. Conde M. Proyecto de inversión para la producción de biodigestores de uso urbano-rural [Internet] [Tesis]. [Mar del Plata]: Universidad Nacional de Mar de La Plata; 2019. Disponible en:
<https://rinfi.fi.mdp.edu.ar/bitstream/handle/123456789/454/MCondePacelli%2BNMFanelli-TFG-II-2020.pdf?sequence=1>

18. Arenas B. Propuesta para el diseño de un biodigestor anaerobio como sistema de aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos generado en las viviendas del proyecto «La

Villa Solar» ubicado en la ciudad Buenaventura - Colombia [Internet] [Tesis]. [Buenaventura]: Universidad de la Salle; 2019. Disponible en: <https://ciencia.lasalle.edu.co/server/api/core/bitstreams/01c2d104-ce74-4d9a-80d3-f8ebd2b9c78b/content>

19. Auris Retamozo RI, Morales De La Cruz FK. EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN EL TIEMPO DE PRODUCCIÓN DE BIOGAS DE EXCRETAS DE BOVINO EN EL CENTRO POBLADO DE CALLQUI GRANDE - HUANCAVELICA [Internet] [Tesis]. Universidad Nacional de Huancavelica; 2019 [citado 5 de septiembre de 2025]. Disponible en: <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/3073>

20. Moreno Simón M. Dinámica de los polifenoles procedentes de aguas residuales de la industria vinícola durante el proceso de digestión anaerobia. Universitat Politècnica de Catalunya [Internet]. 27 de noviembre de 2020 [citado 5 de septiembre de 2025]; Disponible en: <https://hdl.handle.net/2117/334571>

21. Ramírez LAG, Cabrera FAL, Escobedo MKL, Vásquez CBB, Torres CAL. Biofertilizante “biol”: caracterización física, química y microbiológica. Revista Alfa. 20 de mayo de 2023;7(20):336-45.

22. Osorio-Pagán G, Gamarra G, Llallico J, Rosales B. Elaboración de biol con una adecuada concentración de NPK, utilizando diversas fuentes de materia orgánica en biodigestores discontinuos. Prospectiva Universitaria en Ciencias Agrarias. 2024;5(2):16-20.

23. Flor FGI, Loor JC, Muñoz CP, Vásquez KA, Cortez LV, Escobar KR, et al. Inducción de microorganismos eficaces (EM) en la masa fermentativa del cacao (*Theobroma cacao* L.) y su incidencia las características físico química y antioxidante. Biotecnia. 27 de noviembre de 2024;26:e2422-e2422.

24. Barreto RG. Efecto de microorganismos eficaces (em) aplicados en diferentes dosis sobre el cultivo de la soja. Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar. 10 de febrero de 2022;6(1):2341-9.

25. Higa T. EMRO EM [Internet]. 2016 [citado 5 de septiembre de 2025]. Disponible en: <https://www.emro-ehg.de/what-en.html>

26. Magaña-Ramírez JL, Rubio-Núñez R, Jiménez-Islas H, Martínez-García MT. Anaerobic treatment of lactic waste and goat manure. *Ingeniería e Investigación*. 1 de enero de 2011;31(1):93-8.
27. Verner M. Manual de biogás [Internet]. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO); 2011. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/019/as400s/as400s.pdf>
28. López JP, Amante-Orozco A, Martínez-Esquivel R, Rössel-Kipping ED, García-Herrera EJ, Gómez-González A. Digestión anaerobia de estiércol de ovino para producir biogás y bioabono. *Agro Productividad* [Internet]. 8 de abril de 2019 [citado 9 de septiembre de 2025];12(4). Disponible en: <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/1201>
29. Lopez Caramantin CL, Nuñez Linares CR. Producción de biogás, a partir de residuos orgánicos con microorganismos eficientes, recreo turístico Paraíso Verde - Tarapoto 2022. Repositorio Institucional - UCV [Internet]. 2022 [citado 9 de septiembre de 2025]; Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/112275>
30. Barrena Gurbillón, Miguel A., Oscar A. Gamarra Torres y Jorge L. Maicelo Quintana. 2010. Producción de biogas en laboratorio a partir de residuos domésticos y ganaderos y su escalamiento. "Aporte Santiaguino", *Revista Oficial de la UNASAM*. [Internet]. 2010; 3(1): 86-92. ISSN 2070-836X. Huaraz-Perú .Disponible en: https://revistas.unasam.edu.pe/index.php/Aporte_Santiaguino/article/view/425/396
31. Duran Mucha TD. Producción de biogás a partir de la mezcla del estiércol del ganado ovino con microorganismos eficientes a escala de un biodigestor, para su utilización como fuente de energía renovable, en las zonas ganaderas del distrito de Ninacaca – 2018. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión [Internet]. 1 de junio de 2022 [citado 9 de septiembre de 2025]; Disponible en: <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/2626>
32. Monteros E, Durán L, Mora E, Santos. Comparación de dos tipos de biomasa para generación de biogás a partir de excretas de ganado porcino y bovino en el laboratorio. *Tecnogestión*. 2017;14(1).
33. Cotrina DC, Vargas CT. Obtención de Biogás a Partir de Excremento de Cuy en Condiciones Ambientales en Tacna Perú. *Ciencia & Desarrollo*. 2011;(13):84-91.

34. Oyuela F. Evaluación de la producción de biogás y biol a partir de la torta de *Jatropha curcas* L. [Tesis]. [Honduras]; 2010.
35. Durazno A. Valoración de Estiércol Bovino y Porcino en la Producción de Biogás en un Biodigestor de Producción por Etapas [Internet] [Tesis]. [Cuenca]: Universidad Politécnica Salesiana; 2018. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15445/1/UPS-CT007585.pdf>
36. Kim J, Kang CM. Increased anaerobic production of methane by co-digestion of sludge with microalgal biomass and food waste leachate. *Bioresource Technology*. 1 de agosto de 2015;189:409-12.
37. Teniza-García O, Solís-Oba MM, Pérez-López ME, González-Prieto JM, Valencia-Vázquez R. Producción de metano utilizando residuos cunícolas. *Revista mexicana de ingeniería química*. agosto de 2015;14(2):321-34.
38. Zhang Z, Zhang G, Li W, Li C, Xu G. Enhanced biogas production from sorghum stem by co-digestion with cow manure. *International Journal of Hydrogen Energy*. 8 de junio de 2016;41(21):9153-8.
39. Medina V. *El Biol y Biosol en la Agricultura*. Programa especial de energías. 1.ª ed. Bolivia: UMSS-GTZ.; 1992.
40. Wang X, Li Z, Zhou X, Wang Q, Wu Y, Saino M, et al. Study on the bio-methane yield and microbial community structure in enzyme enhanced anaerobic co-digestion of cow manure and corn straw. *Bioresource Technology*. 1 de noviembre de 2016;219:150-7.
41. Bedoya E, Chaparro E, Montoya EEC. USO DEL ESTIÉRCOL DE ANIMALES PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS EN MOQUEGUA. *REVISTA CIENCIA Y TECNOLOGÍA - Para el Desarrollo - UJCM*. 2016;2(4):39-44.
42. Carpio JEBD, Mamani MRA, Chambi ADN, Gamero CEA, Meza KT, Pacheco GMP. Co-Digestión de Tres Tipos de Estiércol (Vaca, Cuy y Cerdo) para Obtener Biogás en el Sur del Perú. *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*. 25 de agosto de 2022;24(3):174-81.

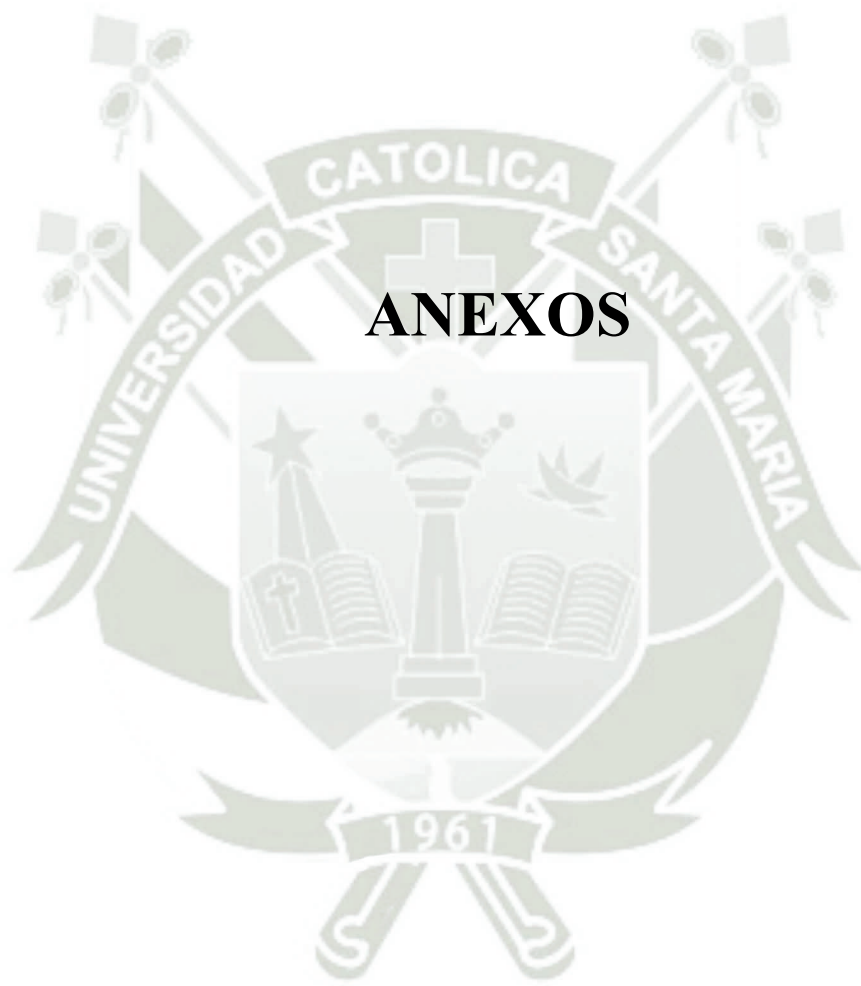
43. Sanclemente Reyes ÓE, García Arboleda M, Valencia Trujillo FL. Efecto del uso de melaza y microorganismos eficientes sobre la tasa de descomposición de la hoja de caña (*Saccharum officinarum*). RIAA. 2011;2(2):13-9.
44. Garcés A, Berrio L, Serna J, Builes A. Ensilaje como fuente de alimentación para el ganado. Revista Lasallista de Investigación [Internet]. 2017;1(1). Disponible en: <https://repository.unilasallista.edu.co/server/api/core/bitstreams/b31ab42d-74ee-4059-a071-4b199d24e112/content>
45. Vélez M. Producción de ganado lechero en el trópico. 6.^a ed. Honduras: Zamorano Academic Press; 2022.
46. Xu F, Khalaf A, Sheets J, Ge X, Keener H, Li Y. Chapter Three - Phosphorus Removal and Recovery From Anaerobic Digestion Residues. En: Li Y, Ge X, editores. Advances in Bioenergy [Internet]. Elsevier; 2018 [citado 9 de septiembre de 2025]. p. 77-136. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468012518300038>
47. Zelaya E. ResearchGate. 2017 [citado 9 de septiembre de 2025]. Producción de biogás a partir de la codigestión de estiércol bovino, melaza e inóculo bacteriano. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/327633725_Produccion_de_biogas_a_partir_de_la_codigestion_de_estiercol_bovino_melaza_e_inoculo_bacteriano
48. Briseño A. Producción de biogás a través de la codigestión de residuos sólidos y semisólidos: hacia una planta centralizada de biogás para la generación de energía. Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica SC [Internet]. 7 de junio de 2017 [citado 9 de septiembre de 2025]; Disponible en: <https://repositorionacionalcti.mx/recurso/oai:cideteq.repositorioinstitucional.mx:1021/186>
49. Valdez Llantoy B. Evaluación de la calidad de biogás y biol producido en biodigestores usando excretas de animales del Parque Zoológico de Huachipa. 2016 [citado 9 de septiembre de 2025]; Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12996/2009>
50. Cabello C, Rincón S, Zepeda A. Catalizadores heterogéneos utilizados para la obtención de biodiesel. Afinidad Journal of Chemical Engineering Theoretical and Applied Chemistry [Internet]. 30 de marzo de 2017 [citado 21 de noviembre de 2022];74(577). Disponible en: <https://raco.cat/index.php/afinidad/article/view/320756>

51. Universidad de León. Desarrollo de un modelo sostenible de producción de biogás y obtención de otros compuestos valorizables a partir de cultivos energéticos autóctonos y no alimentarios (tabaco y chumbera) [Internet] [Proyecto]. [México]; 2010. Disponible en: [http://213.229.136.11/bases/ainia_probiogas.nsf/0/40F10B203B986744C12579C3004D99D4/\\$FILE/SP7.pdf](http://213.229.136.11/bases/ainia_probiogas.nsf/0/40F10B203B986744C12579C3004D99D4/$FILE/SP7.pdf)
52. Carhuancho León FM. Aprovechamiento del estiércol de gallina para la elaboración de biol en biodigestores tipo Batch como propuesta al manejo de residuo avícola. 2012 [citado 9 de septiembre de 2025]; Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12996/1769>
53. Branda LN, Ruíz Díaz A, Ramírez M, Martínez J. EVALUACIÓN DE COLIFORMES FECALES EN EFLUENTES DE UNA EXPLOTACIÓN PORCINA SOMETIDAS A TRATAMIENTO MEDIANTE BIODIGESTOR TUBULAR CON RÉGIMEN DE CARGA ESTACIONADA. Compendio de Ciencias Veterinarias v6 n2 2016 [Internet]. 25 de septiembre de 2023 [citado 9 de septiembre de 2025]; Disponible en: <http://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/8830103>
54. Peralta R. Determinación de parámetros óptimos en la producción de fastbiol usando las excretas del ganado lechero del establo de la UNALM [Tesis]. [Lima]: Universidad Nacional Agraria de La Molina; 2015.
55. Congreso de La República. Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para agua [Internet]. Perú; 2008. Disponible en: https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2013/10/ds_002_2008_eca_agua.pdf
56. Asociación Especializada para el Desarrollo Sostenible. Manual de Elaboración de Abono Foliar Biol. 2006.
57. Jara-Samaniego J, Gallegos J, Cruz A. Elaboration and characterization of bioles from organic waste. InterSedes. julio de 2021;22(45):189-203.
58. Belleza J.C. Producción de biogás y biofertilizante a partir de residuos orgánicos de tuna de nopal (*Opuntia spp.*). [Tesis profesional]. México: Instituto Tecnológico de Oaxaca; 2015.
59. El Peruano - Normas Legales MINAM. Aprueban los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua. Anexo 1-Pag 5. [Internet]. 31 de julio de 2006 [citado 9 de

septiembre de 2025]; Disponible en: https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2013/10/ds_002_2008_eca_agua.pdf

60. Castillo D, Tito C. Obtención de Biogás a Partir de Excremento de Cuy en Condiciones Ambientales en Tacna Perú. Cienc Desarro [Internet]. 2019;13:84–91. Available from: <https://doi.org/10.33326/26176033.2011.13.284>





ANEXOS

Anexo 1. Informes de laboratorio



Laboratorio de
Investigación y Servicios
LABINVSERV

INFORME DE ENSAYOS

N° DE REPORTE: 23426-22

CLIENTE: ANGELICA MARIA LUISA INCALLA LEANDRIS
ALEXANDRA MILAGROS CASTRO DIAZ

DIRECCIÓN: AREQUIPA

ENSAYO SOLICITADO: ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO

PRODUCTO BICOL, COMBINADO

CANTIDAD DE MUESTRA 01

FECHA DE RECEPCIÓN: Martes, 25 de octubre de 2022

**CARACTERÍSTICAS Y
CONDICIONES:** BOLSA DE PLÁSTICO

**FECHA DE ENTREGA DE
RESULTADOS:** Viernes, 04 de noviembre de 2022

REFERENCIA MUESTRA PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

PROCEDENCIA ELABORACION PROPIA

CÓDIGO DE MUESTRA 29672

RESULTADOS OBTENIDOS CORRESPONDEN AL ANÁLISIS SOLICITADO EN LA MUESTRA RECIBIDA.
ESTE FORMATO NO SERÁ REPRODUCIDO SIN AUTORIZACIÓN DEL LABORATORIO LABINVSERV

Página 1 de 2

Av. Independencia s/n Arequipa - Pabellón de Química - Laboratorio 108 - Primer Piso
Teléfono (054) 220360 / E-mail: fon@labinvserv@unsa.edu.pe



Laboratorio de
Investigación y Servicios
LABINVSERV

INFORME DE ENSAYOS

REPORTE N°: 23426-22

ANÁLISIS DE:	UNIDAD	RESULTADOS	MÉTODO DE ENSAYO APLICADO NORMA/REFERENCIA/NOMBRE
Materia Orgánica	%	13,80	Método Walkley Black.
Carbono	%	8,01	Método Walkley Black.
Nitrógeno	%	0,35	Método 2.057 de la AOAC
Conductividad Eléctrica	$\mu\text{S}/\text{cm}^3$	27,13	Método Potenciométrico de la AOAC.
OBSERVACIONES:	MUESTRA SECA		

Página 2 de 2

Emitido en Arequipa, el 04 de noviembre de 2022.


 Dra. Gloria María Ruiz Salazar
 Administradora del Laboratorio
 RCP - 438




 Lic. Quiza Freddy Aguirre Valdivia Peña
 Químico Responsable
 RCP - 892

Av. Independencia s/n Arequipa - Pabellón de Química - Laboratorio 106 - Primer Piso
 Teléfono (054) 220360 / E-mail: lab_invserv@unsa.edu.pe



Laboratorio de
Investigación y Servicios
LABINVSERV

INFORME DE ENSAYOS

N° DE REPORTE: 23425-22

CLIENTE: ANGELICA MARIA LUISA INCALLA LEANDRES
ALEXANDRA MILAGROS CASTRO DIAZ

DIRECCIÓN: AREQUIPA

ENSAYO SOLICITADO: ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO

PRODUCTO BIOL. DE OVINO

CANTIDAD DE MUESTRA 01

FECHA DE RECEPCIÓN: Martes, 25 de octubre de 2022

**CARACTERÍSTICAS Y
CONDICIONES:** BOLSA DE PLÁSTICO

**FECHA DE ENTREGA DE
RESULTADOS:** Viernes, 04 de noviembre de 2022

REFERENCIA MUESTRA PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

PROCEDENCIA ELABORACIÓN PROPIA

CÓDIGO DE MUESTRA 25671

RESULTADOS OBTENIDOS CORRESPONDEN AL ANÁLISIS SOLICITADO EN LA MUESTRA RECIBIDA.
ESTE FORMATO NO SERÁ REPRODUCIDO SIN AUTORIZACIÓN DEL LABORATORIO LABINVSERV

Página 1 de 2

Av. Independencia s/n Arequipa - Pabellón de Química - Laboratorio 108 - Primer Piso
Teléfono (054) 220369 / E-mail: font_labinserv@unsa.edu.pe



Laboratorio de
Investigación y Servicios
LABINVSERV

INFORME DE ENSAYOS

REPORTE N°: 23425-22

ANÁLISIS DE:	UNIDAD	RESULTADOS	METODO DE ENSAYO APLICADO NORMA/REFERENCIA/NOMBRE
Materia Orgánica	%	15,46	Método Walkley Black.
Carbono	%	8,97	Método Walkley Black.
Nitrógeno	%	0,41	Método 2.057 de la AOAC
Conductividad Eléctrica	$\mu\text{S}/\text{cm}^1$	28,76	Método Potenciométrico de la AOAC.
OBSERVACIONES:	MUESTRA SECA		

Página 2 de 2

Emiso en Arequipa, el 04 de noviembre de 2022.


Dra. Gloria María Rosal Salinas
Administradora del Laboratorio
RCP - 438




Lic. Quito Freddy Aguirre Valderrama Pardo
Químico Responsable
RCP - 618

Av. Independencia s/n Arequipa - Pabellón de Química - Laboratorio 1081 - Primer Piso
Teléfono (054) 220360 / E-mail: icnf_labinserv@unsa.edu.pe



INFORME DE ENSAYOS

Nº DE REPORTE:	23424-22
CLIENTE:	ANGELICA MARIA LUISA INCALLA LEANDRES ALEXANDRA MILAGROS CASTRO DIAZ
DIRECCIÓN:	AREQUIPA
ENSAYO SOLICITADO:	ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO
PRODUCTO	BIOL. DE BOVINO
CANTIDAD DE MUESTRA	01
FECHA DE RECEPCIÓN:	Martes, 25 de octubre de 2022
CARACTERÍSTICAS Y CONDICIONES:	BOLSA DE PLÁSTICO
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS:	Viernes, 04 de noviembre de 2022
REFERENCIA	MUESTRA PROPORCIONADA POR EL CLIENTE
PROCEDENCIA	ELABORACION PROPIA
CÓDIGO DE MUESTRA	29670

RESULTADOS OBTENIDOS CORRESPONDEN AL ANÁLISIS SOLICITADO EN LA MUESTRA RECIBIDA.
ESTE FORMATO NO SERÁ REPRODUCIDO SIN AUTORIZACIÓN DEL LABORATORIO LABINVSERV



Laboratorio de
Investigación y Servicios
LABINVSERV

INFORME DE ENSAYOS

REPORTE N°: 23424-22

ANÁLISIS DE:	UNIDAD	RESULTADOS	MÉTODO DE ENSAYO APLICADO NORMA/REFERENCIA/NOMBRE
Materia Orgánica	%	12,72	Método Walkley Black.
Carbono	%	7,38	Método Walkley Black.
Nitrógeno	%	0,32	Método 2.057 de la AOAC
Conductividad Eléctrica	$\mu\text{S}/\text{cm}^2$	26,16	Método Potenciométrico de la AOAC.
OBSERVACIONES:	MUESTRA SECA		

Página 2 de 2

Emiso en Arequipa, el 04 de noviembre de 2022.



Dra. Gloria María Ruiz Salinas
Administradora del Laboratorio
RCP - 438





Lic. Químico Fredy Aguado Valdivia Peña
Gerente Responsable
RCP - 592

Av. Independencia sin Arequipa - Pabellón de Química - Laboratorio 108 - Primer Piso
Teléfono (054) 220360 / E-mail: icnt_labinserv@unsa.edu.pe



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS
LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD

Urb. San José S/N Umariño CAMPUS UNIVERSITARIO H-254205 • 51 54 382028 ANEXO 1106
laboratoriodeensayo@ucsm.edu.pe • http://www.ucsm.edu.pe • Apdo. 1359
AREQUIPA - PERU



INFORME DE ENSAYO N° ANA26J22.004713

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Nombre del cliente : Alexandra Castro Diaz
Dirección del cliente : Urb. Augusto Salazar Bondí I-4ASA
RUC : No corresponde
Identificación del contacto : Alexandra Castro Diaz
Descripción de la muestra : Biol varlos

INFORMACIÓN DEL ENSAYO

Condición del muestreo : Por el cliente
Tamaño de muestra : 100 g/100 mL
Fecha de recepción : 26/10/2022
Fecha de ejecución de ensayo : 26/10/2022 al 02/11/2022
Fecha de emisión de informe : 04/11/2022
Página : 1 de 1

I. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO:

ANÁLISIS NUMERACION DE COLIFORMES TOTALES ICMSF Vol I Ed. II Met 1 pag 132-134(Trad. 1978) Reimp 2000, Ed Acribia)	UNIDADES	RESULTADO
Biol bovino	UFC/g	98 x 10 ⁵
Biol ovino	UFC/g	15 x 10 ⁶
Biol combinado	UFC/g	15 x 10 ⁶

OBSERVACIONES:

- La información proporcionada por el cliente es de responsabilidad exclusiva del mismo.
- El muestreo, las condiciones de muestreo, tratamiento previo y transporte de la muestra hasta el ingreso al LECC son responsabilidad del solicitante y los resultados emitidos en el presente informe se refieren a la muestra tal como se recibió.
- Los resultados emitidos en el presente informe se relacionan únicamente a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Este documento no debe ser reproducido, sin autorización escrita del Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad


Q.F. Ricardo A. Abril Ramírez
QFDA 00624
ESPECIALISTA EN CONTROL DE
CALIDAD LECC



Código: LECC-15INF-002F ED.01 Fecha de Aprobación: 2022-08-16 Aprobación por: DT

Anexo 2. Tablas de Referencia

Tablas NMP

ANEXO C

Tabla 1. Número Más Probable (NMP) y Límite de Confianza 95 %, en pruebas con tubos de fermentación cuando son utilizados tres tubos con volúmenes de 0,1; 0,01; y 0,001 g^a.

No. de tubos positivos /3 tubos			NMP/g ^b	Límite de Confianza 95 %	
0.1 g	0.01 g	0.001 g		Inferior	Superior
0	0	0	<3	-	-
0	1	0	3+	<1	17
1	0	0	4	<1	21
1	0	1	7+	2	27
1	1	0	7	2	28
1	2	0	11+	4	35
2	0	0	9	2	38
2	0	1	14+	5	48
2	1	0	15	5	50
2	1	1	20+	7	60
2	2	0	21	8	62
3	0	0	23	9	130
3	0	1	39	10	180
3	1	0	43	10	210
3	1	1	75	20	280
3	2	0	93	30	380
3	2	1	150	50	500
3	2	2	210+	80	640
3	3	0	240	90	1.400
3	3	1	460	100	2.400
3	3	2	1.100	300	4.800
3	3	3	>1100	-	-

a = Los resultados normales obtenidos en el 95 % de las pruebas, no se les coloca el signo mas. Los resultados menos probables obtenidos en el 4 %, de las pruebas son seguidos por el signo mas. Las combinaciones de tubos positivos que no se muestran, ocurren en menos del 1 % de los ensayos, y la frecuencia indica que la técnica es defectuosa o la presunción fundamental en el cálculo de NMP no se está cumpliendo. El cálculo de NMP, para combinaciones que no se muestran se pueden obtener por extrapolación (o por la fórmula de Thomas) o la combinación cercana más alta que este representado en la tabla. Por ejemplo, un resultado de 2,0,2 tendría un NMP de aproximadamente 20, el cual es el NMP parecido al resultado de 2,1,1.

b = Todas las cifras bajo el título "NMP/g", pueden ser multiplicado por 100 para obtener "NMP/100g".

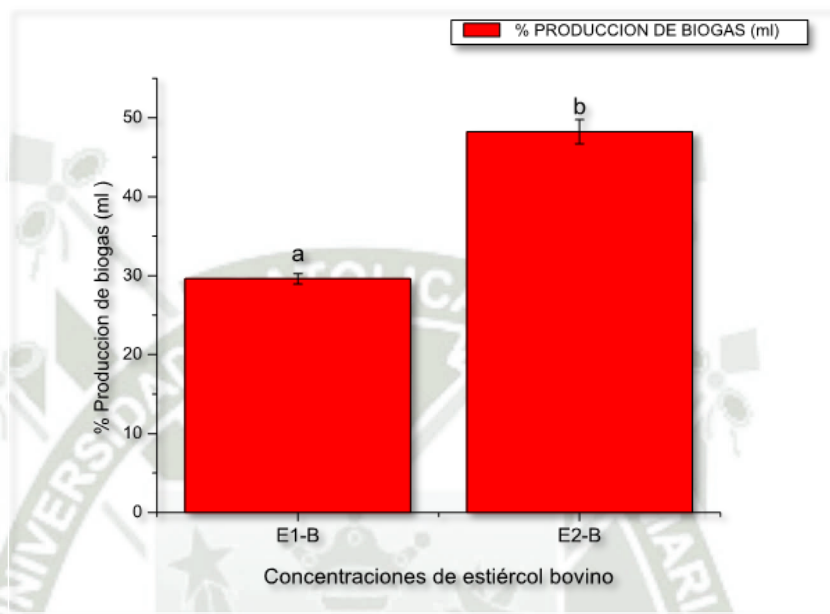
CATEGORÍA 3: RIEGO DE VEGETALES Y BEBIDAS DE ANIMALES

PARÁMETROS PARA RIEGO DE VEGETALES.			
PARÁMETROS	Unidad	Vegetales Tallo Bajo	Vegetales Tallo Alto
		Valor	Valor
Biológicos			
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	1 000	2 000(3)
Coliformes Totales	NMP/100mL	5 000	5 000(3)
Enterococos	NMP/100mL	20	100
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100mL	100	100
Huevos de Helmintos	huevos/litro	<1	<1(1)
<i>Salmonella sp.</i>		Ausente	Ausente
<i>Vibrio cholerae</i>		Ausente	Ausente

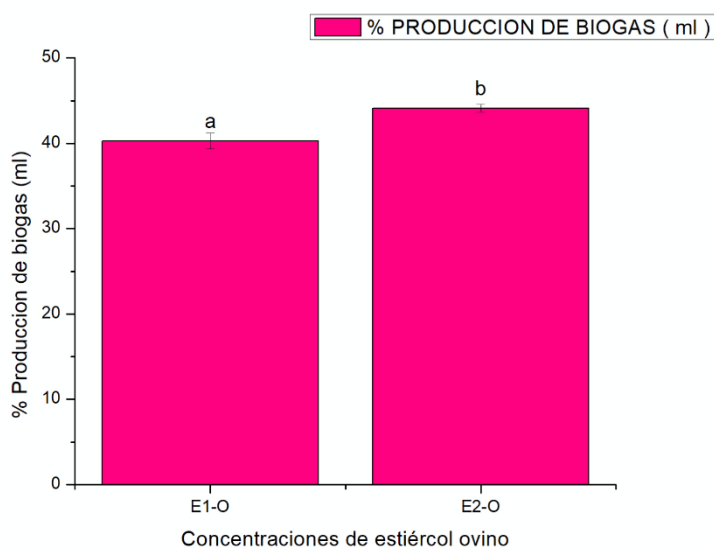


Anexo 3. Gráficos estadísticos

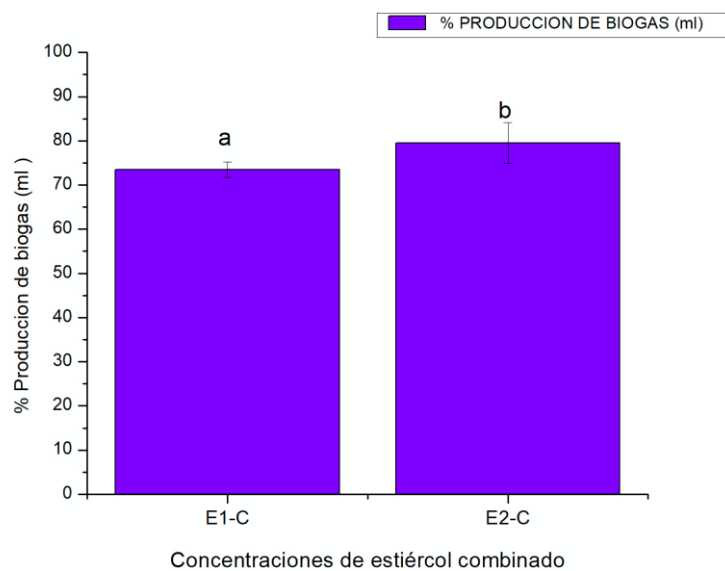
Comparación de dos concentraciones de estiércol Bovino en el día 45 en función del % de producción de biogás (ml)



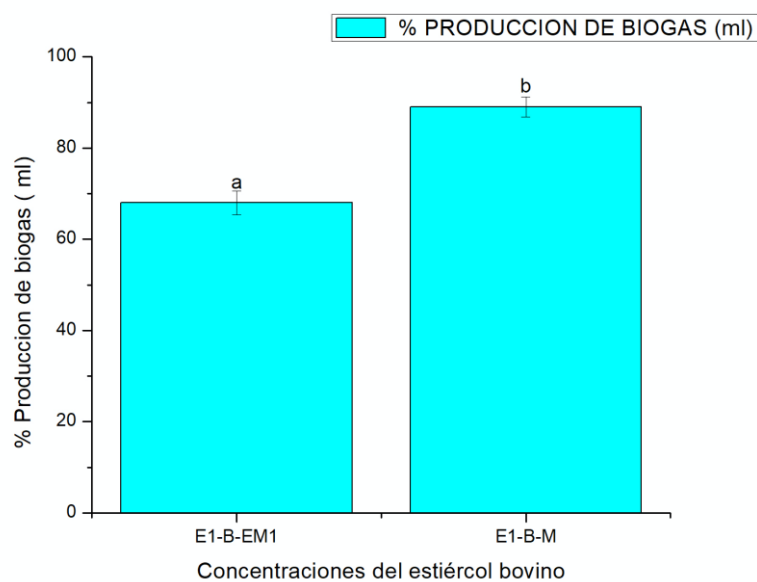
Comparación de dos concentraciones de estiércol ovino en el día 45 en función del % de producción de biogás (ml)



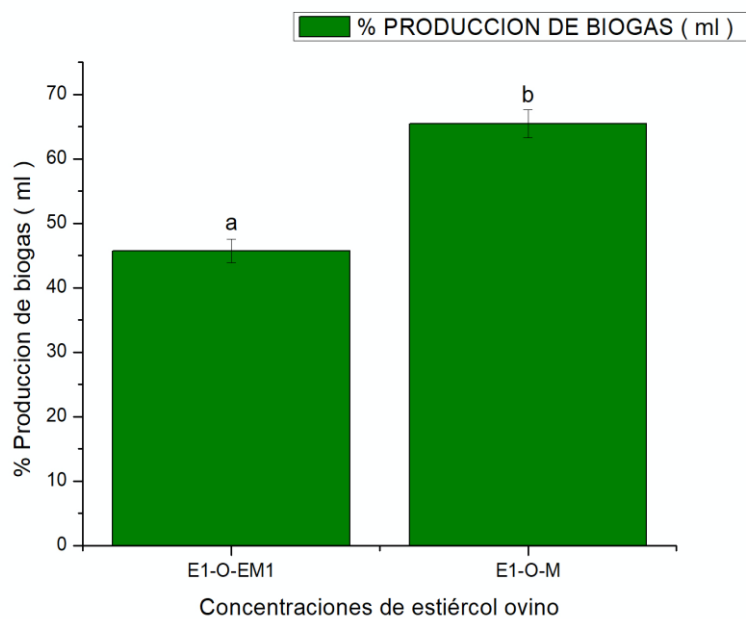
Comparación de dos concentraciones de estiércol combinado en el día 45 en función del % de producción de biogás (ml)



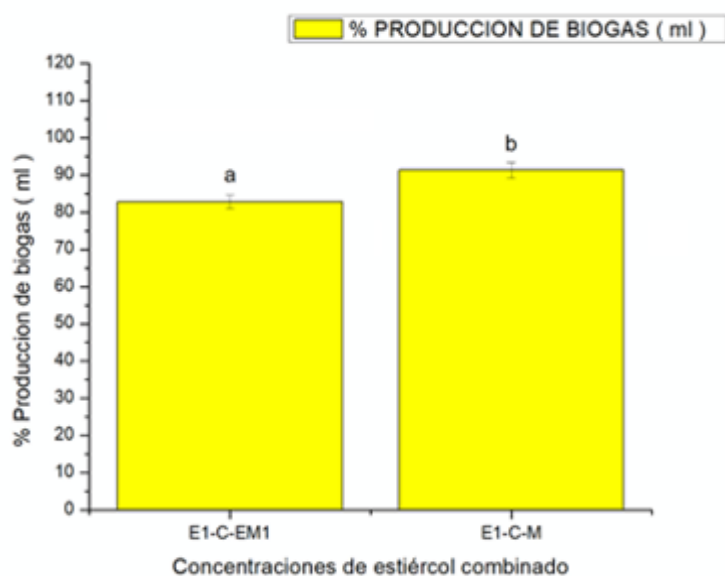
Comparación de dos concentraciones de estiércol bovino en el día 45 en función del % de producción de biogás (ml)



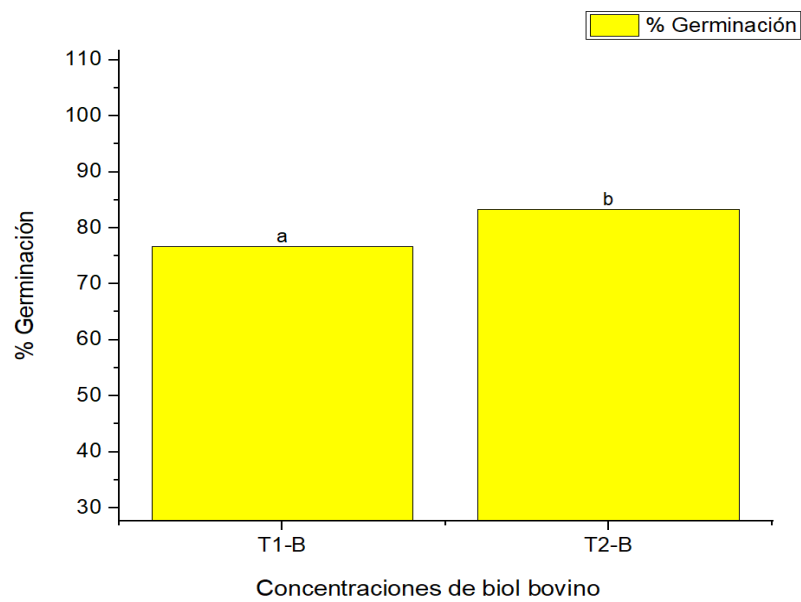
Comparación de dos concentraciones de estiércol ovino en el día 45 en función del % de producción de biogás (ml).



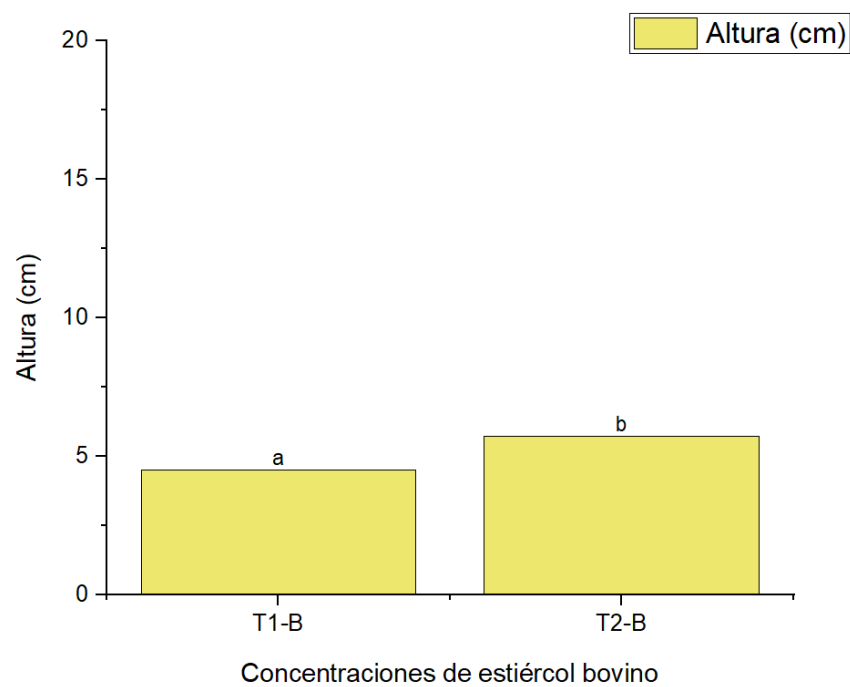
Comparación de dos concentraciones de estiércol combinado en el día 45 en función del % de producción de biogás (ml)



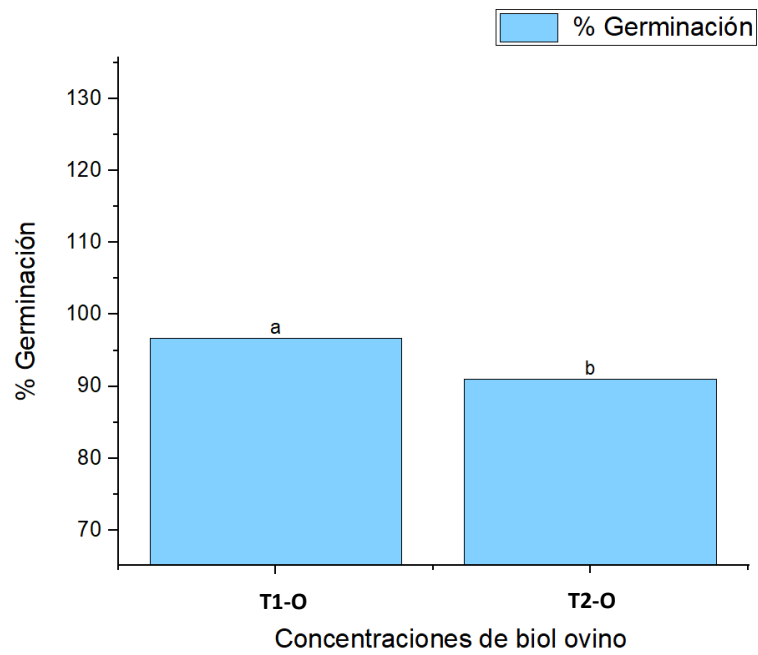
Comparación de T1-B vs T2-B, en función del % de germinación, empleando Biol Bovino.



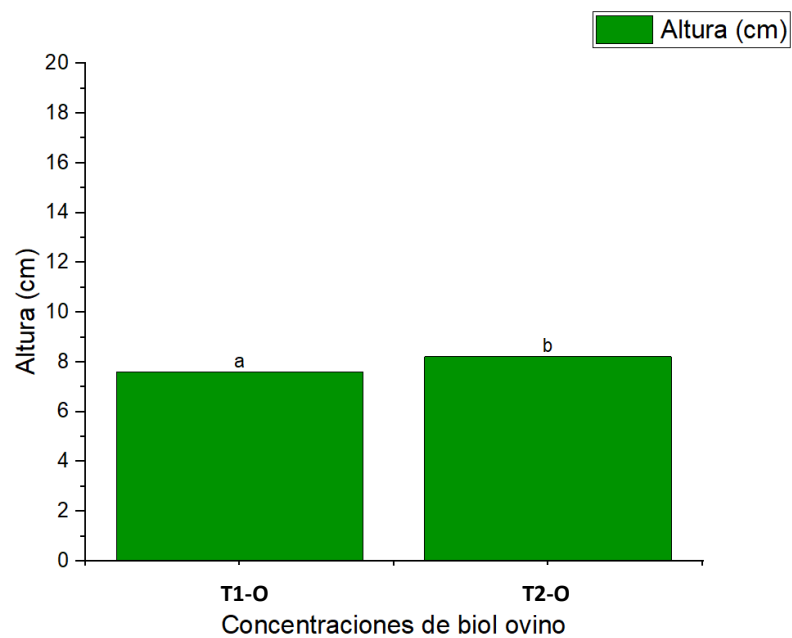
Comparación de T1-B vs T2-B, en función del % de Altura, empleando Biol Bovino.



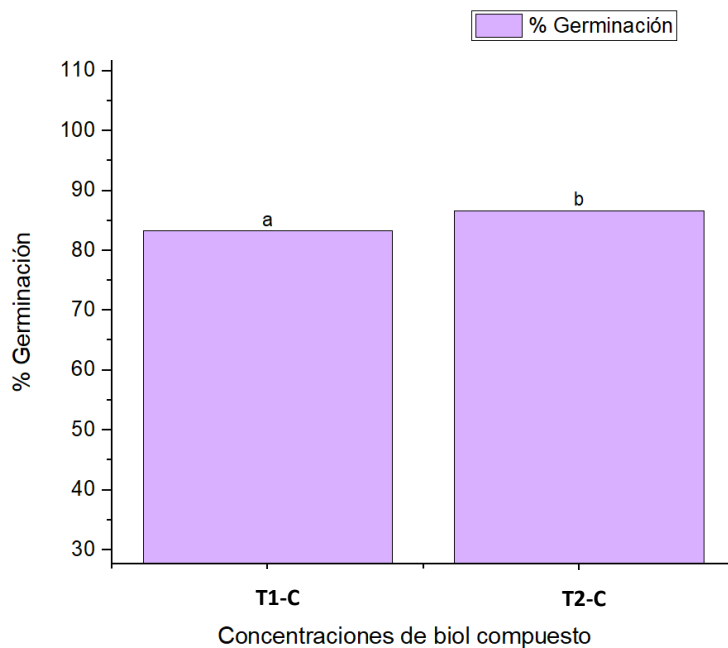
Comparación de T1-O vs T2-O, en función del % de germinación, empleando Biol Ovino.



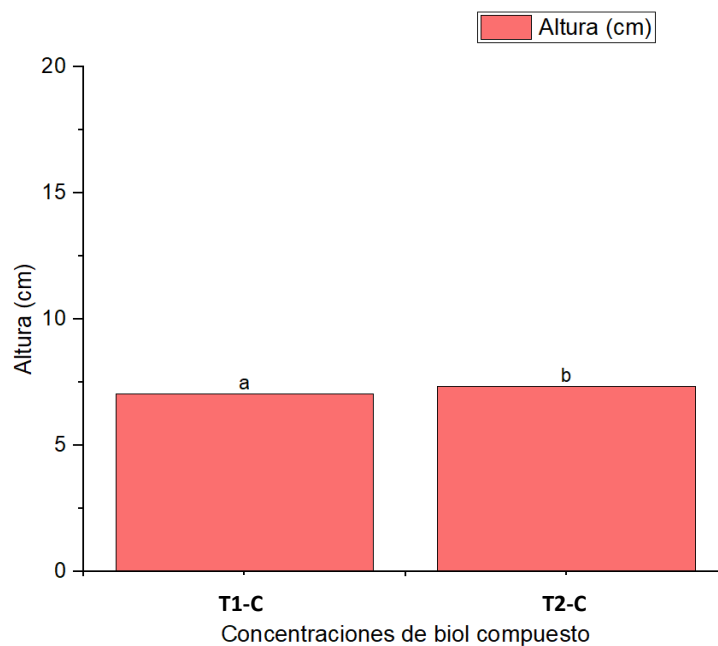
Comparación de T1-O vs T2-O, en función del % de Altura, empleando Biol Ovino.



Comparación de T1-C vs T2-C, en función del % de germinación, empleando Biol
Combinado.

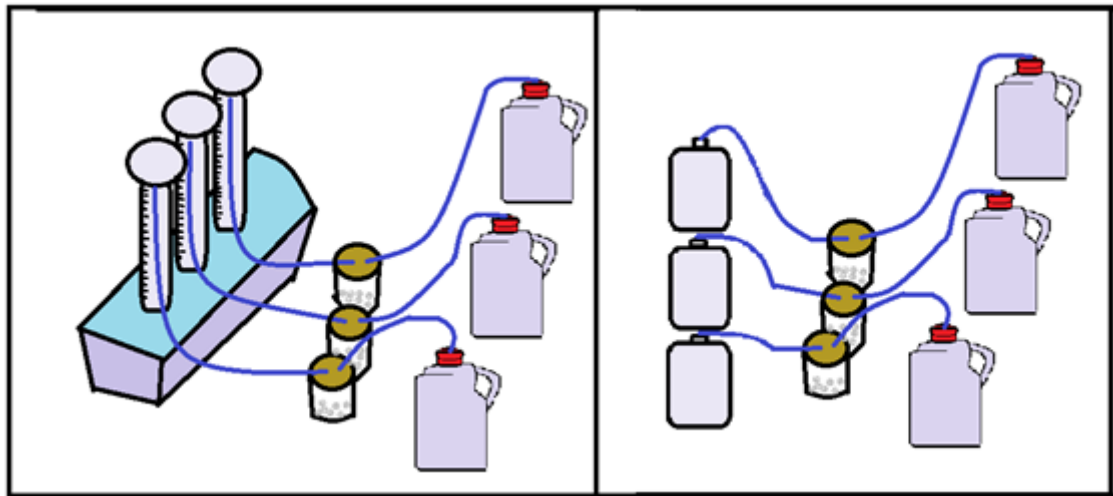


Comparación de T1-C vs T2-C, en función del % de Altura, empleando
Biol Combinado.

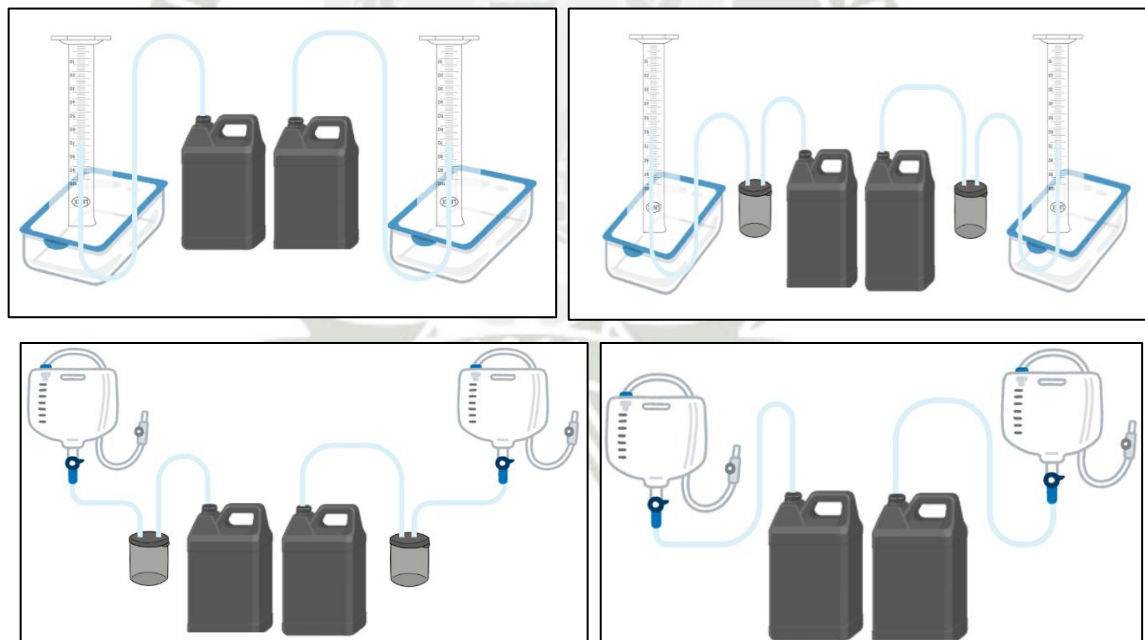


Anexo 4. Panel fotográfico

Esquema del experimento.



Esquema de las fases del experimento



Secado de las muestras de estiércol.



Medición de pH de las muestras de estiércol.



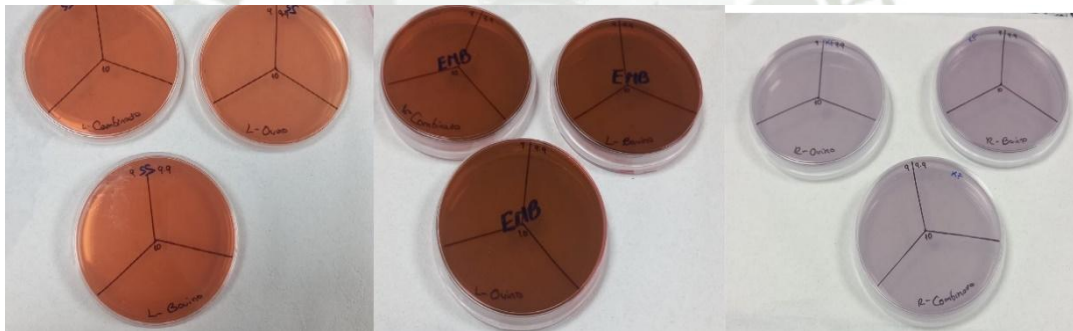
Semilleros de lechuga germinados



Pruebas bioquímicas.



Determinación del NMP a nivel de laboratorio.



Determinación de calidad de biogás en el equipo (Biogás 5000 GEOTECH, UCSM)

