



UNS
ESCUELA DE
POSGRADO

**CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR LAS EXCRETAS DEL
GANADO VACUNO EN UN ESTABLO DEL SECTOR ISLA
BLANCA, CENTRO POBLADO PAMPA LA GRAMA,
SANTA, ANCASH - EN EL 2019**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO
EN CIENCIAS EN GESTIÓN AMBIENTAL**

AUTOR:

Bach. PRINCIPE GARRAMPIE, Walter Concepción

ASESOR:

Dr. QUILLOS RUIZ, Serapio A.

**NUEVO CHIMBOTE - PERÚ
2022**



CONFORMIDAD DEL ASESOR

Yo, Serapio A. Quillos Ruiz, mediante el presente certifico mi asesoramiento de la tesis de Maestría titulada **CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR LAS EXCRETAS DEL GANADO VACUNO EN UN ESTABLO DEL SECTOR ISLA BLANCA, CENTRO POBLADO PAMPA LA GRAMA, SANTA, ANCHASH – EN EL 2019**, elaborada por el Bachiller Walter Concepción Príncipe Garrampie, para obtener el Grado Académico de Maestro en Ciencias en Gestión Ambiental en la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional del Santa.



Dr. SERAPIO A. QUILLOS RUIZ
ASESOR



CONFORMIDAD DEL JURADO EVALUADOR

CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR LAS EXCRETAS DEL GANADO VACUNO EN
UN ESTABLO DEL SECTOR ISLA BLANCA, CENTRO POBLADO PAMPA LA
GRAMA, SANTA, ANCHASH – EN EL 2019

Tesis para optar el Grado de Maestro en Ciencias en Gestión Ambiental

Revisado y Aprobado



Dr. Luis Ángel Campoverde Vigo
Presidente



Dr. Carlos Alberto Azañero Díaz
Secretario



Dr. Serapio A. Quillos Ruiz
Vocal

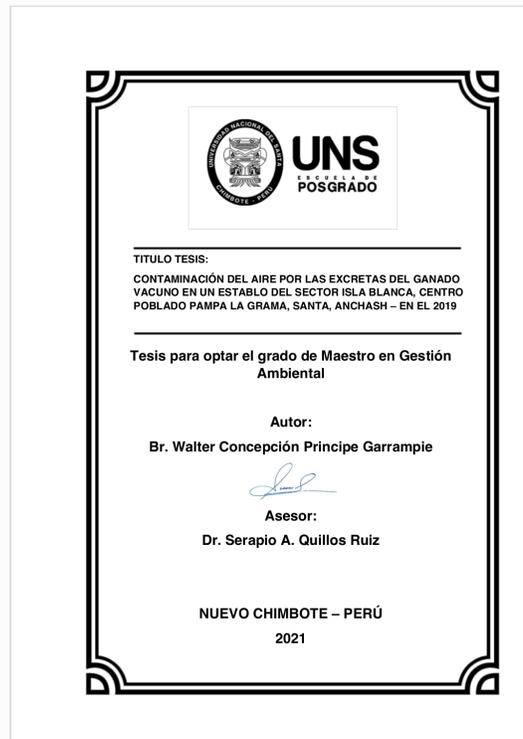


Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por Turnitin. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Walter Concepción Walter Concepción
Título del ejercicio: tesis_doctoral
Título de la entrega: Tesis_maestria
Nombre del archivo: word_principe_correjado.docx
Tamaño del archivo: 3.38M
Total páginas: 120
Total de palabras: 21,296
Total de caracteres: 112,084
Fecha de entrega: 22-abr.-2022 06:27p. m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega... 1817715550



DEDICATORIA

Dedico esta tesis a Dios, quien es mi pilar
y fortaleza de mi vida.

A mis hijos que amaré hasta la eternidad:
Waltt, Diego, Nathalia, Walter y Bruno.

Agradecimiento

Al Dr. Serapio A. Quillos Ruiz por el valioso aporte de sus conocimientos de la concretización de la presente investigación.

A la escuela de Posgrado de la Universidad Nacional del Santa, por darme la oportunidad de grandeza y de inspiración, y a mis maestros y colaboradores que ayudaron a la realización de la presente investigación.

INDICE

CARATULA	I
ASESOR	II
JURADO	III
Recibo DIGITAL	IV
DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTO	VI
INDICE	VII
RESUMEN	XII
ABSTRACT	XIII
INTRODUCCION	1
CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	3
1.1. Planteamiento y fundamentación del problema	3
1.2. Antecedentes de la investigación	6
1.3. Formulación del problema	12
1.4. Delimitación del estudio	12
1.5. Justificación e importancia de la investigación	13
1.6. Objetivos de la investigación	14
1.6.1. Objetivo general	14
1.6.2. Objetivos específicos	14
1.7. Hipótesis central de la investigación	14
CAPITULO II: MARCO TEORICO	15
2.1. Fundamentos teóricos de la investigación	15
2.2. Marco conceptual	25
CAPITULO III: MATERIALES Y MÉTODOS	29
3.1. Parámetros de medición (indicadores)	29
3.2. Área de estudio	29
3.3. Muestra	29
3.4. Equipos utilizados	31
3.5. Levantamiento de información	32
3.6. Descripción del ensayo	33
3.7. Actividades del proceso investigativo	34
3.8. Cálculo de la masa de CH ₄ y CO ₂ generados en el biodigestor Batch	36
3.9. Cálculo del volumen de CH ₄ y CO ₂ generados por la muestra a condi-	39

ciones normales	
3.10. Cálculo de la evolución en la generación de masa de gases durante los 45 días en el digestor	40
3.11. Cálculo de las masas de CH ₄ y CO ₂ generados en el establo por las excretas acumuladas durante un día	41
3.12. Cálculo del volumen de CH ₄ y CO ₂ a condiciones normales generados en el establo por las excretas acumuladas durante un día	42
3.13. Generación real de CH ₄ y CO ₂ en el establo	43
3.14. Concentración de los gases contaminantes en el establo	45
3.15. Fundamentos para considerar atmósfera estable	47
3.16. Análisis del modelo de la celda fija estacionaria asumida (método 1)	49
3.17. Cálculo de las concentraciones de CH ₄ y CO ₂ en el establo	51
3.18. Cálculo de las concentraciones en partes por millón	52
3.19. Modelo de dispersión Gaussiano (método 2)	54
3.20. Cálculo de la concentración C	58
3.21. Método alternativo para cálculo de parámetros de dispersión de fuentes puntuales (método 3)	63
CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	70
4.1. Resultados	70
4.1.1. Tablas y figuras de la investigación	70
4.1.2. Comparación con los límites permisibles	89
4.2. Discusión	92
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	94
5.1. Conclusiones	94
5.2. Recomendaciones	95
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	97
LISTA DE TABLAS	
CAPITULO I	3
Tabla 1. Producción de excretas del ganado vacuno, por día.	7
Tabla 2. Cabezas de ganado vacuno por municipio.	7
Tabla 3. Producción de estiércol total.	8
Tabla 4. Factor de producción de biogás por tamaño y tipo de ganado.	8
Tabla 5. Máxima generación metano obtenida en forma experimental y teórica.	9
Tabla 6. Valor medio anual de la concentración de CH ₄ , desvío estándar, valores máximos y mínimos y número de muestras recolectadas para cada sitio.	11

CAPITULO II	15
Tabla 7. Generación y secuestro de gases de efecto invernadero.	19
Tabla 8. Estimaciones de las principales fuentes naturales y antropogénicas de metano a nivel global (millones de Ton/año).	20
Tabla 9. Composición del biogás.	21
Tabla 10. Rangos de temperaturas y tiempo de digestión anaeróbica.	22
Tabla 11. Producción de biogás por tipo de residuo animal.	23
Tabla 12. Producción de biogás de varios tipos de estiércol/sustrato.	24
Tabla 13. Potencial de calentamiento de los gases de efecto invernadero.	24
Tabla 14. Volumen total de gas ruminal, concentración de CH ₄ en diferentes horarios y volumen de CH ₄ producidos por una vaca Holstein seca de 550 kg de peso, durante tres periodos de 24 horas no consecutivos.	25
CAPITULO III	29
Tabla 15. Promedio de excretas por vaca/por día	30
Tabla 16. Valores de I, J, K para σ_y en función de la distancia a nivel de piso y condición de estabilidad.	56
Tabla 17. Valores de I, J, K para σ_z en función de la distancia a nivel de piso y condición de estabilidad.	56
Tabla 18. Condiciones meteorológicas que definen las clases de estabilidad de pasquil.	57
Tabla 19. Coeficientes c y d para medio rural para σ_y	63
Tabla 20. Coeficientes a y b para σ_z	64
CAPITULO IV	70
Tabla 21. Presiones tomadas en el biodigestor casero tipo Batch.	70
Tabla 22. Crecimiento de la masa de gases en el biodigestor Batch.	72
Tabla 23. Evolución diaria de masa de gases generada por las excretas acumuladas en un día en el establo.	73
Tabla 24. Evolución diaria del volumen de gases a c.n. por las excretas acumuladas en un día.	75
Tabla 25. Diferenciales de masa generadas cada día por las excretas acumuladas en un día.	76
Tabla 26. Masa real diaria de CH ₄ generada en el establo, en gramos.	78
Tabla 27. Masa real diaria de CO ₂ generada en el establo, en gramos.	82
Tabla 28. Concentraciones de CH ₄ y CO ₂ en el establo en el día 45 (método 1).	86
Tabla 29. Concentraciones en ppm en el establo (Método 1).	86
Tabla 30. Valores de σ_y en el establo (método 2).	86
Tabla 31. Valores de σ_z en el establo (método 2).	86

Tabla 32. Concentración C de CH ₄ y CO ₂ en $\mu g/m^3$, para Z=0m, Y=5m (método 2).	87
Tabla 33. Concentración C del CH ₄ y CO ₂ en $\mu g/m^3$, para Z=0m, Y=0m (método 2).	87
Tabla 34. Concentraciones en el establo en ppm, halladas por el método de Gauss (método 2).	88
Tabla 35. Valores de σ_y y σ_z para cálculo de concentraciones (método 3).	88
Tabla 36. Concentraciones C de CH ₄ y CO ₂ (método 3).	88
Tabla 37. Concentraciones en el establo hallados por el método alternativo, en ppm (método 3).	89
Tabla 38. Concentraciones máximas comparativas calculadas para el establo.	91
LISTA DE FIGURAS	
CAPITULO II	15
Figura 1. Crecimiento histórico del CO ₂ desde 1988 hasta abril 2019.	15
Figura 2. Biodigestor casero tipo Batch discontinuo.	21
Figura 3. Fuentes de metano.	23
Figura 4. Efecto invernadero.	27
Figura 5. Energía térmica que no sale de la atmósfera.	27
CAPITULO III	29
Figura 6. Instrumentos de medición.	31
Figura 7. Biodigestor instalado en el establo.	32
Figura 8. Distribución de Amagat.	36
Figura 9. Curva total del gas mostrando los diferenciales de masa durante su evolución.	44
Figura 10. Balance de materia.	46
Figura 11. Tendencia de la generación de biogás en el establo.	46
Figura 12. Modelo de celda para nuestro cálculo en el establo.	50
Figura 13. Modelo Gausseano para el establo.	54
CAPITULO IV	70
Figura 14. Presiones tomadas en el biodigestor durante los 45 días.	71
Figura 15. Evolución diaria de la generación de masa de CH ₄ y CO ₂ por las excretas acumuladas en un día.	74
Figura 16. Valores reales de la masa de CH ₄ generada diariamente en el establo.	81
Figura 17. Valores reales de la masa de CO ₂ generada diariamente en el establo.	85
ANEXOS	101
ANEXO 1: Vista panorámica de la zona rural donde se ubica el establo.	102

ANEXO 2: Forraje principal de las vacas lecheras del establo.	103
ANEXO 3: Actividad principal (producción de leche).	104
ANEXO 4: Zona de forrajeo de las vacas en el establo.	105
ANEXO 5: Secuencia de aumento de excretas en el establo.	106
ANEXO 6: Establo y vacas lecheras rurales vecinas al establo de análisis.	108
ANEXO 7: Excretas de ganado vacuno.	111
INFORME DE ORIGINALIDAD	112

RESUMEN

En el presente trabajo hemos investigado el grado de contaminación que produce las excretas de las vacas lecheras en un establo del sector Isla Blanca, centro poblado Pampa la Grama, en la localidad de Santa. Utilizando un biodigestor casero del tipo batch discontinuo, analizamos una muestra de 20 kg de excretas frescas, durante 45 días, calculando a partir de los datos de presión y las características de volumen del biodigestor, la cantidad de biogás generado, durante estos 45 días. Se determinó mediante análisis la composición del biogás generado, hallándose que el 59% corresponde al CH_4 , el 38.5% corresponde al CO_2 y el 2.5% a otros gases. A partir de estos valores calculamos la masa de metano (2.9408 g) y la masa de dióxido de carbono (5.265726 g) generados por la muestra. Estos valores fueron generalizados matemáticamente para las excretas acumuladas durante un día y luego por superposición de valores para toda la biomasa del establo, considerando el desfase en la degradación entre las excretas de un día a otro. Finalmente se determinó las concentraciones de ambos gases considerados, en el aire del recinto. El análisis se hizo por tres métodos diferentes, los mismos que arrojaron valores de las concentraciones, relativamente pequeñas, concluyendo que la contaminación del aire por las excretas del establo, no es realmente considerable.

Palabras clave: excretas de vaca, biogás, Gases de efecto invernadero, fermentación anaeróbica.

ABSTRACT

In the present work we have investigated the degree of contamination produced by the excreta of dairy cows in a stable in the Isla Blanca sector, Pampa la Grama populated center, in the town of Santa. Using a homemade batch biodigester, we analyzed a 20 kg sample of fresh excreta for 45 days, calculating from the pressure data and the volume characteristics of the biodigester, the amount of biogas generated during these 45 days. The composition of the biogas generated was determined by analysis, finding that 59% corresponds to CH₄, 38.5% corresponds to CO₂ and 2.5% to other gases. From these values we calculate the mass of methane (2.9408 g) and the mass of carbon dioxide (5.265726 g) generated by the sample. These values were mathematically generalized for the excreta accumulated during one day and then by superposition of values for all the biomass of the stable, considering the lag in degradation between the excreta from one day to the next. Finally, the concentrations of both gases considered were determined in the air of the enclosure. The analysis was carried out by three different methods, the same ones that gave relatively small concentration values, concluding that the air pollution by the excreta of the stable, is not really considerable.

Keywords: cow excreta, biogas, Greenhouse effect gases, anaerobic fermentation.

INTRODUCCIÓN

Este trabajo de investigación, trata específicamente de la contaminación del aire por la concentración de metano (CH_4) y bióxido de carbono (CO_2) generado por las excretas del ganado vacuno (vacas lecheras) en un establo del sector Isla Blanca, centro poblado Pampa la Grama, Santa en el 2019. Como se sabe el CH_4 en términos ambientales contribuye al calentamiento y al cambio climático global, sin embargo, en el Perú hasta la fecha no se le presta la atención necesaria en cuanto a su contribución potencial al respecto.

Entre los principales gases de efecto invernadero (GEI), se encuentran: el dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos, (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF_6). Las moléculas de todos estos gases absorben calor y a esta característica de mantener calor cerca de la superficie de la tierra, se le conoce como efecto invernadero. La cantidad de estos gases liberados mediante la actividad humana se ha incrementado significativamente en los últimos años, lo cual está acelerando el efecto invernadero natural y el cambio climático global. La producción pecuaria contribuye considerablemente a las emisiones de CH_4 , CO_2 y N_2O a la atmósfera. En esta investigación cuantificamos la cantidad de metano y de dióxido de carbono generado por las excretas de las vacas lecheras y como influye en la calidad del aire, en un pequeño establo rural. Pretendemos contribuir – dando cifras específicas de contaminación por ambos gases – al conocimiento real del grado de contaminación por las excretas del ganado vacuno, en un contexto pequeño, como es el caso de estudio. Nuestro interés, como en toda investigación sobre contaminación está direccionado a la reducción y prevención del calentamiento global a partir del conocimiento cuantificado del ente generador y dar una herramienta para pensar en como tener una producción pecuaria sostenible con una menor producción de GEI o como mitigar su generación.

Carmona, Bolívar y Giraldo (2005), expresan que el ganado bobino por característica natural, tiene un sistema digestivo que produce metano, un potente gas de efecto invernadero que contribuye con aproximadamente el 18% del calentamiento global ocasionado por actividades productivas con animales domésticos, superado sólo por el CO_2 . La actividad ganadera produce el 15% de la emisión mundial de gas metano. El ganado bovino

emite gas metano porque en su proceso digestivo, que ocurre bajo condiciones anaeróbicas, participan diferentes tipos de bacterias. Éstas, degradan la celulosa ingerida a glucosa, que fermentan luego a ácido acético y reducen el dióxido de carbono, formando metano en el proceso (pp. 50-51).

En el establo donde hemos realizado la investigación, las concentraciones de metano y dióxido de carbono en el aire, disminuyen notoriamente a pequeñas distancias del centro emisor (concentración de excretas). Considerando que la zona es arrocerá y que las vacas con sus eructos y flatulencias también contribuyen a las concentraciones reales en el establo, calculamos las concentraciones específicas generadas por las excretas solamente, utilizando métodos matemáticos a partir de los valores experimentales obtenidos en un biodigestor casero tipo Batch discontinuo, determinando así el grado de influencia en la calidad del aire del establo.

Ospina et al. (2014), expresa que, el estiércol de ganado bovino es una fuente de emisión de CO_2 , CH_4 , N_2O y NH_3 , debido a que contiene nitrógeno, carbono y agua, sustratos esenciales que las bacterias metanogénicas y metanotróficas, Así como las bacterias nitrificantes y desnitrificantes, transforman a formas orgánicas (Citado en Hernández et al. 2018, p. 599).

Onema et al. (2005), refiere que, se calcula que el estiércol de los sistemas de producción ganadera contribuye con 30 a 50 % de las emisiones de GEI provenientes de las actividades agropecuarias a nivel global (Citado en Hernandez et al., 2018, p. 599).

CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento y fundamentación del problema

En las zonas rurales de la Provincia del Santa existen establos dedicados a la crianza de ganado vacuno tanto para la producción de leche como para la producción de carne. Por sus características fisiológicas, este ganado ingiere ingentes cantidades de forraje y por tanto también genera una gran cantidad de excretas (estiércol húmedo). Generalmente en los establos lecheros, las vacas se encuentran confinadas en un determinado espacio, por tanto, el forrajeo se practica en una zona reducida de los mismos y las excretas generadas son de tal magnitud que llegan a cubrir la parte inferior de sus patas, más aún si no se tiene un programa de limpieza establecido. A estos residuos el ganadero los ensaca y los utiliza como abono en los campos de cultivo.

Pinos (2012), en el tema, Impactos y regulaciones ambientales del estiércol generado por los sistemas ganaderos de algunos países de América, expresa que, las excretas generadas por el ganado puede impactar negativamente sobre el medio ambiente, si no hay un tratamiento adecuado del mismo, porque emite gases nocivos a la atmósfera. La intensificación de la producción ganadera aumenta la generación de estiércol, lo cual origina una gran cantidad de nutrientes desechados y concentrados en un área pequeña. Una alternativa viable para disminuir el impacto ambiental negativo de las excretas ganaderas es generar biogás, pero los costos de los equipos para capturar y utilizar este gas para generar electricidad son altos todavía. Las regulaciones o normas para el manejo de estiércol generado por el ganado en confinamiento varían mucho entre países y regiones, y su propósito es disminuir el impacto negativo en el ambiente (pp. 359-360, 368).

También su depósito en el suelo y su influencia en los cuerpos hídricos superficiales, no han sido tomados en cuenta con la rigurosidad debida, tal es así que no existe en nuestro país, desde el punto de vista de polución, un estudio serio al respecto.

En el Perú no hay legislación que se encargue de normar el manejo y almacenamiento de excretas animales y en forma particular del ganado vacuno, que es el más abundante. Esto es un claro indicador de la poca importancia dada a las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) generados por este medio.

Es interesante preguntarse, por ejemplo: ¿Cuál es el impacto ocasionado por las excretas del ganado vacuno en el aire?, ¿Su magnitud es digna de tomarlo en cuenta o a partir de que cantidad de excretas debemos considerarlas como peligrosas para el medio?, quizá este cuestionamiento nos tome de sorpresa, seguramente muchos opinarían que no genera contaminación y otros que genera poco o mucho, por desconocimiento sobre el tema o porque nunca nos hemos puesto a pensar sobre este problema. Aquí en este trabajo despejamos las dudas al respecto y cuantificamos este factor en una pequeña ganadería.

Los sectores de mayor consideración en cuanto a contaminación en nuestro país y de mayor discusión, son los industriales, generación de energía a partir de combustibles fósiles, parque automotriz, residuos sólidos, etc. En ellos se centran las discusiones, estudios, presiones políticas y regulatorias respecto a los enfoques medio ambientales y ecológicos. Sin embargo, la ganadería no es tomada en cuenta, despreciada o en su defecto menos vigilada. Aquí enfocamos la generación de GEI (CH_4 y CO_2) por las excretas de las vacas lecheras en un pequeño establo, para tener una cuantificación real y específica al respecto – claro está, en el contexto del medio de estudio - con la importancia requerida, para caminar hacia una solución adecuada y consensuada, si es necesario.

En el sector denominado Isla Blanca, ubicada en el centro poblado Pampa la Grama, ubicado en el distrito de Santa, existen hasta 5 establos de ganado vacuno, compuesto en un 90% de vacas lecheras. Los dueños de estos establos se dedican a la producción y venta de leche lo que constituye su principal actividad económica, junto al cultivo de sus campos.

Se ha observado que las vacas lecheras ingieren ingentes cantidades de forraje y agua diariamente para poder tener una producción promedio de 20 litros de leche por día. Esto hace que el ganado produzca durante el día una gran cantidad de excretas mezclada con una considerable cantidad de orina, cuya mezcla constituye un lodo de excretas - sobre todo en la zona de forrajeo del establo – y que a falta de un programa y/o sistema de limpieza en el establo, este lodo llega a acumularse en cantidades que llega a tener hasta 30 cm de altura, que en el mejor de los casos son evacuados entre 30 a 45 días, para ser ensacado, para su posterior venta y/o uso como abono en los campos de cultivo, ya que no existe en la localidad de Santa, ninguna planta de generación de energía para tratamiento y aprovechamiento del gas metano específicamente.

Durante la limpieza – evacuación – de excretas el trabajador manifiesta sentir un olor característico, debido posiblemente a la generación de gases y a la degradación misma de las excretas. Esto no necesariamente es un indicador que estos residuos contaminen seriamente el aire del medio, por lo que es necesario ponderarlo, teniendo en cuenta que en estos establos viven familias enteras en habitaciones adyacentes a la zona de forrajeo del ganado.

Este trabajo se fundamenta en la necesidad de determinar la concentración del gas metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2) en el aire que circula al interior del establo y ver como afecta su calidad. Nos concentramos en estos dos GEI por ser los que constituyen entre el (96 – 99) % de la generación por excretas.

Esta investigación, lo realizamos en un establo del sector Isla Blanca, centro poblado Pampa la Grama, en la localidad de Santa, compuesto de 32 vacas lecheras. Estos animales permanecen prácticamente todo el día alimentándose en la zona de forrajeo y solamente son apartadas para ser ordeñadas. Simultáneamente a la ingesta del forraje van arrojando sus excretas en dicha zona.

1.2. Antecedentes de la investigación

En el Perú de acuerdo al Decreto Supremo N°002-2017, es el Ministerio del Ambiente (MINAM) quien tiene la función de formular, planificar, dirigir, coordinar, ejecutar, supervisar y evaluar la Política Nacional del Ambiente, aplicable a todos los niveles de gobierno. Por otro lado el Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA) es una red de integración tecnológica, institucional y humana que facilita la sistematización, acceso y distribución de la información ambiental, así como su uso e intercambio y el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), órgano público técnico especializado, adscrito al Ministerio del Ambiente, encargado de impulsar y promover el cumplimiento de la normativa ambiental en los agentes económicos y la mejora del Sistema Nacional de Gestión Ambiental de manera articulada; sin embargo el control y fiscalización de la contaminación agropecuaria hasta la fecha no se ha tomado en cuenta tal es así que no contamos con un estudio serio al respecto a pesar que sabemos que los animales ruminantes tal como el ganado bovino producen gases de efecto invernadero como el metano y dióxido de carbono. Actualmente no existen cálculos ni mediciones de las concentraciones de metano en las zonas ganaderas del Perú, tal como Puno, Cajamarca y Ancash que son las regiones de mayor concentración agropecuaria.

Conocemos que entre otros, los principales problemas son la calidad de la alimentación del ganado sobre todo en la zona alto andina y la calidad genética del ganado, que es lo que contribuye a una mayor generación de metano y dióxido de carbono. Sabemos también que actualmente el sector ganadero es uno de los rubros con mayor crecimiento del sector agropecuario en el mundo y en nuestro país y la carne de res es la de mayor consumo, siendo superada sólo por la de ave, principalmente pollo.

Vera et al. (2013), expresa que la cantidad de estiércol depende específicamente del tipo de animal, su edad y su tamaño promedio. Con la cantidad de estiércol se puede estimar la cantidad de biogás (metano básicamente) y como consecuencia la magnitud de la energía eléctrica (pp. 430-431).

Es nuestro interés en este trabajo, el cálculo del volumen y masa de metano y de dióxido de carbono solamente. En el estudio realizado, analizamos las excretas generadas por 32 vacas lecheras de tamaño grande, tomando una muestra representativa, generalizando luego para el 100% de las excretas en el establo de estudio.

Vera et al. (2013), menciona que la cantidad total de excretas dependerá de la cantidad total de cabezas de ganado afectado por su tamaño. Para tener una idea de la cantidad de estiércol que puede generarse en las grandes ganaderías, observemos las tablas: 1, 2, 3 y 4, que corresponden sólo a la región Ciénaga, Michoacán en México (pp. 431-433).

Tabla 1. Producción de excretas del ganado vacuno, por día.

Producción de excretas por día		
Grande	15	Kg/día
Mediano	10	Kg/día
Pequeño	8	Kg/día
Ternero	4	Kg/día

Fuente: Vera y et al. (2013). Ingeniería, Investigación y Tecnología. XV(3), p. 431

Tabla 2. Cabezas de ganado vacuno por municipio.

Región Ciénaga, Michoacán	Ternero	Pequeño	Mediano	Grande	TOTAL
Briseñas	271	265	336	113	985
Cojumatlán de Régules	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
Jiquilpan	2 492	1 851	1 261	2 467	8 071
Pajacuarán	793	556	556	818	2 723
Sahuayo	885	770	621	1 127	3 403
Venustiano Carranza	1 420	1 240	1 441	1 664	5 765
Villamar	920	867	722	1 360	3 869
Vista Hermosa	453	547	489	811	2 300
Ixtlán	837	549	572	1 082	3 040
Total	8 071	6 645	5 998	9 442	30 156
Porcentaje (%)	26,8	21,0	19,9	31,3	100

Fuente: Adaptación datos INEGI (vera y et al., 2013, p. 431)

Tabla 3. Producción de estiércol total.

Tipo de ganado	Kg/día	Kg/año
Vacuno	287 054	104 774 710
Porcino	52 316	19 095 158
TOTAL	339 370	123 869 868

Fuente: Vera y et al. (2013). Ingeniería, Investigación y Tecnología. XV(3), p. 432

Tabla 4. Factor de producción de biogás por tamaño y tipo de ganado.

Especie	Tamaño	Cantidad de Excreta (Kg/día)	Producción de Biogás m ³ /día animal
Bobino	Ternero	4.00	0.16
	Pequeño	8.00	0.32
	Mediano	10.00	0.40
	Grande	15.00	0.60
Porcino	Pequeño	1.00	0.07
	Mediano	1.50	0.10
	Grande	2.00	0.14
	Mediano	0.10	0.006
	Grande	0.15	0.009

Fuente: Martínez, 2007. (Vera y et al., 2013. Ingeniería, Investigación y Tecnología. XV(3), p.433

Sogari, (2003), manifiesta que uno de los parámetros que permite evaluar la generación de metano a partir del proceso de fermentación de la materia orgánica es la productividad de metano o productividad metanoica. Este parámetro se define como la cantidad de metano generado en la unidad de tiempo respecto de la materia dispuesta en el reactor (p. 1).

La aplicación de la fórmula propuesta es una alternativa para conocer la evolución del proceso productivo de metano en un digestor:

$$P_{CH_4} = \frac{V_{CH_4}}{V_{reactor} \cdot t}$$

Donde:

V_{CH_4} : Volumen de metano generado.

$V_{reactor}$: Volumen de materia dispuesta en el recinto fermentador.

t : Tiempo considerado.

Sogari, (2003), manifiesta que la fórmula propuesta, resulta una alternativa para calcular la producción de metano a partir de la degradación de diferentes sustratos orgánicos. Los errores cometidos al utilizar la expresión matemática no supera el 10% respecto de los valores obtenidos en forma experimental (p. 4).

Sogari (2003), expresa también que la producción de metano, tiene un límite y este depende fundamentalmente de la naturaleza de la materia dispuesta en el sistema digestor. La fórmula permite estimar la máxima generación de metano para un producto determinado, es la siguiente (p.1).

$$M_{m\acute{a}x} = \frac{V_{CH_4}}{S_{org.total}}$$

Donde:

V_{CH_4} : Volumen de metano generado.

$S_{org.total}$: Materia orgánica total utilizada en todo el proceso.

Sogari (2003), nos da los valores máximos de metano obtenido en forma experimental y teórica (p. 4). Ver tabla 5.

Tabla 5. Máxima generación metano obtenida en forma experimental y teórica.

	Excremento de vaca	Excremento de cerdo	Mezcla de aceite y grasa
Mmax Experimental (litros metano/kg sólido volátil)	85	110	135
Mmax de acuerdo con la definición (litros metano/kg sólido volátil)	90	110	150
Mmax de acuerdo con la fórmula (litros metano/kg sólido volátil)	90	111	125

Salazar et al. (2011), diseñaron, construyeron y evaluaron el funcionamiento de un biodigestor familiar de 2 m³ tipo manga de polietileno, utilizando adobe en las paredes de la zanja, acolchonado por una manta de sacos y revestido por un cobertor negro lo que ayuda a mantener cálido el sistema; alimentado con estiércol fresco de ganado ovino. Se evaluó el sistema en los meses de marzo y abril del 2011,

donde se controló el pH del lodo, producción de biogás diaria, temperatura de la manga en tres regiones y la temperatura ambiental. El tiempo de retención inicial fue de 30 días, produciendo posteriormente biogás en forma diaria con un promedio de 400 litros/día con un rango de temperatura del biodigestor entre 30 a 40°C oscilando la temperatura ambiente entre 20 y 30°C durante los meses de evaluación (p.1).

Magrí et al. (2008), dice que la actividad ganadera actúa también sobre el aire y la atmósfera, la contaminación está ocasionada por la difusión de los gases (NH_3 , CO_2 , SH_2 , CH_4 , CO , etc.) producidos por los animales y por los que proceden de la fermentación de las deyecciones ganaderas. El CO_2 es el gas con mayor importancia en la contribución antropogénica, no natural, al calentamiento global. Se estima que es responsable de un 60% del total. Le sigue en importancia el CH_4 , que supone sobre un 20% y del que se estima que la mitad de sus emisiones son responsabilidad humana (ganado vacuno, arrozales y emisiones de gas natural). Al óxido nitroso, N_2O , se le atribuye una responsabilidad del 6% y su origen se atribuye a los abonos nitrogenados. Finalmente, los clorofluorocarbonados (CFCs), sustancias totalmente artificiales, son responsables de un 14% del total (p. 22).

Monteny et al. (2001), expresa que la ganadería emite CH_4 debido fundamentalmente a la fermentación entérica y en menor medida a la fermentación de las deyecciones ganaderas. Khalil (2000), afirma que la ganadería es responsable de cerca del 23% de las emisiones de CH_4 globales de origen antropogénico. Crutzen et al. (1986), debidas mayoritariamente a la digestión de los rumiantes, que emiten CH_4 durante la digestión del alimento en el rumen, figurando el ganado bovino como principal responsable, seguido del ovino. UNFCC (2007), en España, la contribución de la ganadería a las emisiones de CH_4 supera el 35%, de las cuales el 60% son debidas al ganado bovino (Citado en Cambra-López et al. 2008, p. 90).

A la fecha no hemos encontrado un estudio exclusivo para medir la influencia del gas generado por las excretas de vaca, de los establos, en la calidad del aire ambiental del medio adyacente, sabiendo que la mezcla de excretas y orina producen

el lodo que genera específicamente los gases metano y dióxido de carbono, que es lo que analizamos en este trabajo. Sabemos que los dos GEI principales son el CO₂ y CH₄ y que una buena parte de ellos son producidos por la fermentación natural de materia orgánica. El biogás está compuesto por el conjunto de estos dos gases.

Urteaga (2016), obtuvo las concentraciones de CH₄ para seis sitios de muestreo de la ciudad de Tandil, con una frecuencia aproximada de 15 días, entre el 22 de noviembre del 2012 y el 22 de noviembre del 2013. En cada sitio, se realizaron entre 20 y 25 mediciones. De acuerdo al protocolo de muestreo, de las 150 muestras esperadas se obtuvieron 134 (lo cual representa un 89% de eficiencia en el procedimiento de muestreo). Las concentraciones medias de CH₄ medidas en estas muestras para cada uno de los sitios de estudio, junto con otros parámetros estadísticos descriptivos básicos (desvío estándar, mínimo, máximo) se muestran en la tabla 6. Los valores obtenidos son la concentración de CH₄ en cada periodo de muestreo para cada sitio. Se presentan además los resultados del Test de comparación de medias LSD Fisher (pp. 29-30).

Tabla 6. Valor medio anual de la concentración de CH₄, desvío estándar, valores máximos y mínimos y número de muestras recolectadas para cada sitio (letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas según la clasificación del Test Fisher a un nivel de significancia $p < 0,05$).

Concentración de CH ₄ anual (ppm)					
Sitio	Media	Desvío estándar	Valor mínimo	Valor máximo	N
U1	2.06 ^{AB}	0.22	1.79	2.52	24
U2	2.20 ^{BC}	0.25	1.72	2.64	24
U3	1.98 ^A	0.28	1.72	2.59	23
U4	2.25 ^C	0.35	1.76	2.84	20
U5	2.17 ^{BC}	0.21	1.80	2.53	22
U6	2.06 ^B	0.22	1.74	2.74	20

Urteaga (2016), manifiesta que la concentración media de CH₄ en aire en la ciudad de Tandil osciló entre 1,98 y 2,25 ppm, con una variación respecto del valor medio comprendida entre un 10 y un 15 %. La mínima concentración fue registrada

en U3 (sitio de referencia) donde además se registró la menor concentración a lo largo de todo el periodo de estudio, igual a 1,72 ppm. Por el contrario, la concentración más alta se obtuvo en U4, inmerso en la ciudad. A partir de estas observaciones, los resultados del test LSD Fisher muestran diferencias estadísticamente significativas de las concentraciones de CH₄ entre U3 y U4 ($p < 0,05$). Los demás sitios presentaron concentraciones de CH₄ intermedias: los sitios U2 y U5 (zona centro de Tandil) presentaron concentraciones parecidas a U4, mientras que los sitios U6 y U1 presentaron menores concentraciones, similares a U3 (p. 30).

Sánchez y Calero (2013), basan su trabajo de investigación en la evaluación de las condiciones óptimas del estiércol/agua para la producción de biogás, tomando en cuenta que el sistema de bioconversión sea efectivo a escala de laboratorio y posteriormente estimar el medio óptimo estiércol/agua para producir biogás a partir del estiércol de bovino. El biogás tiene origen biológico, cuyos componentes principales son el metano y el dióxido de carbono que se producen como resultado de la fermentación anaeróbica (ausencia de aire) de la materia orgánica provocada por grupo de microorganismos (p. 1,3).

En esta investigación hemos utilizado un biodigestor casero tipo Batch, que nos da las condiciones anaeróbicas adecuadas y nos permite medir con facilidad las presiones en un recipiente cerrado cuyas características de volumen constante nos ayuda a calcular con facilidad la generación del biogás.

1.3. Formulación del problema

¿Cuál es el efecto de las excretas del ganado vacuno sobre la calidad del aire, en el establo del sector Isla Blanca, del Centro Poblado Pampa la Grama, Provincia del Santa, Ancash, en el 2019?

1.4. Delimitación del estudio

La investigación se realizó en un establo ubicado en la localidad de Santa, sector Isla Blanca, centro poblado Pampa la Grama, con una población de 32 vacas lecheras que ocupan un área de 1200 m² aproximadamente, pero la zona de forrajeo

y en donde se generan las excretas es de 40m x 12m. El estudio se llevó a cabo entre agosto y diciembre del 2019, tiempo en el cual se realizó el muestreo para estimar la cantidad de excretas diarias generadas, confección del biodigestor casero tipo Batch, medición de presiones y toma de datos, que nos sirvieron para calcular la cantidad de biogás y determinar la cantidad de metano y dióxido de carbono que era el propósito de las mediciones, para luego hallar las concentraciones de estos elementos en el aire atmosférico del establo y el efecto sobre el mismo. A partir de los datos experimentales se hizo cálculos matemáticos, ya que hacer mediciones directas tendríamos resultados erróneos por lo siguiente:

- La zona donde se encuentra ubicado el establo es una zona agrícola básicamente arrocera y por tanto generadora de CH_4 y CO_2 , lo que implica que ese factor de contaminación exterior estaría involucrado en las mediciones.
- Las vacas lecheras en sus flatulencias y eructos, generan mucho más metano y dióxido de carbono que la fermentación de sus excretas, por tanto, las mediciones estarían afectadas en mayor grado por este factor y distorsionaría nuestra investigación, que es la generación de biogás a partir de la biomasa de las excretas.

1.5. Justificación e importancia de la investigación

En la provincia del Santa y en general en el Perú existen numerosos establos lecheros ubicados en las zonas rurales en los cuales se producen enormes cantidades de excretas que no son adecuadamente manipuladas y almacenadas para ser aprovechadas como recurso útil, por ejemplo, para generación de energía (eléctrica o calorífica) y como bio abono, considerando la cantidad de nutrientes que dispone.

En este trabajo consideramos el aspecto negativo de esta biomasa, enfocando nuestro análisis en la generación de GEI, cuantificando un tema poco tomado en cuenta en la ganadería peruana. El cálculo de los principales GEI, CH_4 y CO_2 a partir de las excretas, en forma natural tal como sucede en los criaderos y/o campos de ganado bobino, es un tema específico poco considerado, sobre todo cuando se trata de grandes cantidades, como sucede en los países ganaderos, como Argentina, México, Colombia, etc. Nosotros en este trabajo investigativo determinamos en que grado, las excretas del ganado lechero afecta la calidad del medio ambiente en un

pequeño establo y si es de primera importancia o no tenerlo en cuenta. Somos conscientes que la cantidad de gases generados por este medio depende de muchos factores, primordialmente del tipo de alimentación del ganado, sin embargo, con esta investigación tendremos una idea cabal de su influencia y a partir de que cantidad de biomasa tendríamos que tomar medidas realmente efectivas para uso y tratado.

Teniendo en cuenta el crecimiento de la población y la industria, el ganado en sus diferentes especies aumentará con el tiempo y por tanto este factor contaminante se hará cada vez más peligroso si no se toma en cuenta la forma de mitigarlo. Por esta razón aquí cuantificamos la generación y su grado de influencia.

1.6. Objetivos de la investigación

1.6.1 Objetivo general

Determinar el efecto de las excretas del ganado vacuno sobre la calidad del aire en el establo del sector Isla Blanca, Centro Poblado Pampa la Grama, Santa, Ancash, 2019.

1.6.2 Objetivos específicos

1. Estimar la cantidad de excretas que producen las vacas del establo diariamente.
2. Calcular la cantidad de gas metano y dióxido de carbono generado por las excretas de las vacas lecheras a partir de la cantidad diaria que producen.
3. Analizar la calidad del aire en el establo del Sector Isla Blanca.
4. Comparar la calidad del aire en el establo del Sector Isla Blanca con los estándares de calidad del aire.

1.7. Hipótesis central de la investigación

Las excretas del ganado vacuno generan GEI metano y dióxido de carbono que afectan la calidad del aire en el establo del Sector Isla Blanca del Centro Poblado Pampa la Grama, Provincia del Santa, Ancash, en el 2019.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Fundamentos teóricos de la investigación

El hombre ha evolucionado de tal forma que la economía basada en la productividad, competencia, tecnología y transformación de la materia prima para satisfacer sus necesidades de supervivencia y adecuación a la vida contemporánea, ha ido cambiando su acción antropogénica sobre su hábitat. Si agregamos a esto la explosión demográfica de los 100 últimos años, la lectura ambiental indica que estamos al borde de la irreversibilidad, de forma que, debemos tomar medidas drásticas e inmediatas para la sostenibilidad de nuestro medio ambiente.

Cuevas (2020), Director del Centro de Investigación Atmosférica de Izaña de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), ha subrayado que el ritmo de crecimiento interanual se ha acelerado un 30 por ciento en los últimos 35 años, ya que, en 1984, cuando en Izaña (Tenerife) empezaron a medir las concentraciones de CO₂ el incremento interanual era de 1,8 ppm y en la actualidad, el aumento es de 2,3 ppm. La concentración de CO₂ en la atmósfera alcanzó en abril del 2019, un valor record de 415 ppm, por primera vez desde hace 3 millones de años (p. C1).

Así ha aumentado la concentración de CO₂ en la atmósfera

(Observatorio de Izaña, Tenerife)



Figura 1. Crecimiento histórico del CO₂ desde 1988 hasta abril 2019.

López (2006), expresa que, tanto los ciudadanos como los poderes públicos han comenzado a preocuparse por el hecho, cada día más evidente, de que los límites de la autogeneración y de la capacidad de absorción del medio natural en su conjunto, están cerca. Problemas sobradamente conocidos, resultantes del desarrollo económico insostenible imperante durante el último siglo, como el cambio climático, el deterioro de la capa de ozono, la desertización, la degradación del suelo, el deterioro de la calidad del aire y el agua, la pérdida de la diversidad biológica, la crisis energética y, en general, la reducción de los recursos disponibles está resultando tan obvia, que lo que en su día fue motivo de inquietud solamente para reducidas colectividades científicas y minorías socialmente avanzadas, cristalice hoy en uno de los retos más acuciantes de nuestra sociedad (p. 4).

FAO (2006), sostiene que el sector pecuario es responsable del 9 por ciento de emisiones de CO_2 y del 35-40 por ciento de emisiones de CH_4 respecto a las emisiones antropogénicas globales. Cuando se toma en consideración tanto la deforestación y conversión de las tierras en pastizales y tierras destinadas a cultivos forrajeros, las emisiones de dióxido de carbono asociadas al ganado representan un componente significativo del total global. Sin embargo estas cifras tienen un grado considerable de incertidumbre. De allí que este sector se excluya con frecuencia de los informes de emisiones, aunque se considere que su participación es importante. El papel fundamental del ganado en las emisiones de metano es bien conocido desde hace mucho tiempo. La fermentación entérica y el estiércol generan en conjunto cerca del 80 por ciento de las emisiones de metano procedentes de la agricultura y aproximadamente el 35-40 por ciento del total de las emisiones antropogénicas de metano. Las emisiones de metano del estiércol animal, si bien mucho más bajas en términos absolutos, son considerables y están creciendo rápidamente (pp. 126-128).

FAO (2006), en su investigación realizada expresa que las emisiones de metano de los rumiantes no solamente son un peligro ambiental, sino que también generan una pérdida de productividad ya que el metano representa una pérdida de carbono del rumen y, por lo tanto, un uso ineficiente de la energía alimentaria. Las emisiones por animal y por unidad de producto son más altas cuando la dieta es más pobre. El

enfoque más promisorio para la reducción e las emisiones de metano del ganado es el mejoramiento de la productividad y la eficiencia de la producción animal a través de una mejora nutricional y genética (pp.134-135).

Cordero (2013), sostiene que el ganado produce metano de la fermentación entérica y el excremento. Durante este proceso se produce el metano que es expulsado a través de los eructos (95 por ciento) y por las flatulencias (5 por ciento). La torta de excremento deja de producir metano cuando se seca por completo. Una vaca arroja alrededor de 5.5 kilos de excremento y de 350 a 750 litros de metano a través del eructo, diariamente, de acuerdo con los estudios de la FAO (p .10).

Bekkering et al. (2010), menciona que la digestión anaeróbica del estiércol produce gases que en su mayoría son metano (60 %), bióxido de carbono (39 %), y trazas (0.2 %) de óxido nitroso. El metano es un gas no tóxico, un biogás que contribuye significativamente al efecto Invernadero (Citado en Cordero, 2013, p. 14).

FAO, (2006), atribuye al sector ganadero una alta participación en la problemática ambiental global. Establecen que este sector es el responsable del 18% de las emisiones de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) que emite el 9% del total del CO₂ y del 37% de las emisiones de gas metano (CH₄) provenientes de la fermentación entérica y del estiércol. Asimismo, participa con el 65% de las emisiones globales de óxido nitroso (N₂O) y emite el 64% del amoníaco global (p. xxii).

Hidalgo et al. (2003), señala que los problemas medioambientales más importantes derivados de la producción lechera tienen que ver con la contaminación del aire, del agua y con la biodiversidad. La contaminación del agua se produce por el inadecuado tratamiento de los residuos del estiércol y por el empleo de fertilizantes en la producción forrajera. Los nutrientes, en particular el nitrógeno y el fósforo, contaminan la tierra, aguas superficiales, subterráneas y aguas marinas, dañando los ecosistemas por eutrofización. Las aguas pueden contaminarse también por los efluentes orgánicos y los patógenos que contiene el estiércol. La

contaminación del agua es fundamentalmente un problema local o regional, pero a veces puede llegar a tener carácter internacional (Citado en Tapia, N., 2008, p. 13).

García *et al.* (2006) indica que las concentraciones de metano (CH_4) en la atmósfera han aumentado en un 150 % desde 1750, no habiendo sido superadas en 420,000 años. El CH_4 es el GEI más importante en la atmósfera después del vapor de agua y el CO_2 aunque su potencial de calentamiento de la tierra es mucho mayor contribuyendo aproximadamente en el 15 % del calentamiento global de la tierra (Citado en Tapia, N., 2008, pp. 19-20).

El campo agrario de la provincia de Santa es sembrado de arroz en gran parte de su extensión. Para satisfacer la creciente demanda de este producto, el área de cosecha se expande rápidamente. Este rápido aumento en el área cultivada significa mayores emisiones de CH_4 durante los últimos años. El cultivo de arroz es un gran generador de CH_4 .

Cornejo (2010), afirma que la cantidad de metano emitido por el tipo de manejo de desechos es una función de tres factores: el tipo de tratamiento o almacenamiento, las condiciones ambientales y la composición del estiércol. Los sistemas líquidos producen emisiones de metano mayores a otros sistemas. Altas temperaturas y humedad favorecen la producción de metano. La composición del estiércol está directamente relacionada al tipo de animal y la dieta. Por ejemplo, el ganado de leche consume mayor cantidad de alimentos y como consecuencia tiene tazas más altas de producción de estiércol (p. 136).

Vargas y Carol (2005), manifiestan que la biodigestión anaerobia, es el proceso donde la materia orgánica se degrada para producir metano mediante un conjunto de interacciones complejas entre distintos grupos de bacterias. Existen 3 fases básicas en este proceso así como también existen 3 grupos esenciales de bacterias que intervienen en el mismo. El primer grupo de bacterias son las llamadas formadoras de ácidos y su función es hidrolizar las moléculas complejas de materia orgánica para originar ácidos grasos de cadena corta y alcohol. El segundo grupo es

acidogénica o fermentativa, las moléculas orgánicas solubles son fermentadas, formando compuestos que pueden ser utilizados directamente por las bacterias metanogénicas. Los productos finales de la etapa anterior son transformados en acetato, hidrógeno y CO₂ por un grupo de bacterias que aportan aproximadamente el 54% del hidrógeno que se utilizará en la formación de metano. La función de estos microorganismos en el proceso de la digestión anaerobia es ser donantes de hidrógeno, CO₂ y acetato para las bacterias metanogénicas (Citado en Tapia, N., 2008, p. 25).

La investigación se focaliza en el metano y el dióxido de carbono, porque:

- Actualmente el CO₂ es el principal y más abundante contaminador atmosférico, pero el CH₄ es un gas que posee 23 veces más potencia de efecto invernadero que el CO₂.
- El CH₄ es el segundo gas de efecto invernadero encontrado en la atmósfera, pero en el tiempo puede superar al CO₂.
- La recuperación y/o mitigación del metano puede traer múltiples beneficios a la comunidad, principalmente como generador de energía eléctrica y calorífica. Ver tabla 7.

Tabla 7. Generación y secuestro de gases de efecto invernadero.

Elemento	Captura	Generación
Dióxido de carbono (CO ₂)	Océanos, forestación	Quema de combustibles fósiles (82%), procesos industriales (5%), agricultura (9%), deforestación y quema de biomasa.
Metano (CH ₄)		Ganadería (36%), emisiones fugitivas (31%), desechos sólidos (28%), quema de combustibles fósiles (2,6%), otros.
Óxido nitroso (N ₂ O)		Fertilizantes nitrogenados (69%), transporte (10.5%), procesos industriales (12,3%), otros.
Ozono (O ₃)		Contaminación urbana
Clorofluorocarbonados (CFC)		Refrigeración, aire acondicionado, procesos industriales.
Vapor de agua (H ₂ O)		Tráfico aéreo
SO ₂ , SF ₆ , HFC, PFC		Plantas termoeléctricas y otras plantas industriales.

Fuente: Hilbert y Eppel, 2007 (Tesis de: Tapia Norma, 2008).

Carmona et al. (2005), expresa que la agricultura y la producción pecuaria contribuyen ampliamente a las emisiones antropogénicas de metano (CH₄), dióxido de carbono (CO₂) y óxido nitroso (N₂O) a la atmósfera. El aumento de las concentraciones de estos gases provoca un calentamiento de la superficie terrestre y la destrucción de la capa de ozono en la estratosfera. Dentro de la gama de gases a los que se les atribuye efecto invernadero, se considera al CO₂ el más abundante y el que actualmente tiene un mayor aporte al incremento del calentamiento global. Hoy en día las concentraciones de metano son inferiores a las de CO₂, sin embargo el primero, se está incrementando rápidamente y además posee un efecto 21-30 veces más contaminante con respecto al CO₂, considerando que en el tiempo el metano puede ser predominante. Las tasas de acumulación de metano y dióxido de carbono en la atmósfera han cambiado drásticamente en los últimos años presentándose un incremento de forma exponencial. Cerca de 500 millones de toneladas métricas/año de metano ingresan a la atmósfera debido a actividades antropogénicas y fenómenos naturales. A esta tasa se espera que el metano cause cerca del 15-17% del calentamiento global. Actualmente se tienen definidas las fuentes de metano causantes de este efecto pero el grado de incidencia y la proporción exacta de muchas de estas fuentes no son claras (pp. 50-51).

Tabla 8. Estimaciones de las principales fuentes naturales y antropogénicas de metano a nivel global (millones de Ton/año).

NATURALES		ENERGIA/DESECHOS		AGRICULTURA	
Pantanos	115	Gas y petróleo	50	Cultivo de arroz	60
Océanos	15	Carbón mineral	40	Animales domésticos	80
Termitas	20	Carbón vegetal	10	Abonos orgánicos	10
Combustión	10	Rellenos sanitarios	30	Combustión	5
		Agua residual	25		
TOTAL	160		155		155

Fuente: Johnson y Johnson (Carmona, et al., 2005)

Johnson y Johnson (1995), señalan que, el metano colabora en los efectos climáticos directamente, a través de su interacción con la energía infrarroja e

indirectamente a través de las reacciones de oxidación atmosféricas que producen CO_2 , por esto actualmente se considera que la producción animal sostenible debe tender a una menor producción de metano (Citado en Carmona et al., 2005, p. 50).

Raposo, et al. (2011), expresa que para la medición de gas, los métodos gasométricos son los más utilizados para determinar la biodegradabilidad anaerobia. En tales métodos, la producción de biogás se puede cuantificar ya sea manométricamente o volumétricamente. Es usado también el método de cromatografía de gases (p. 1091).

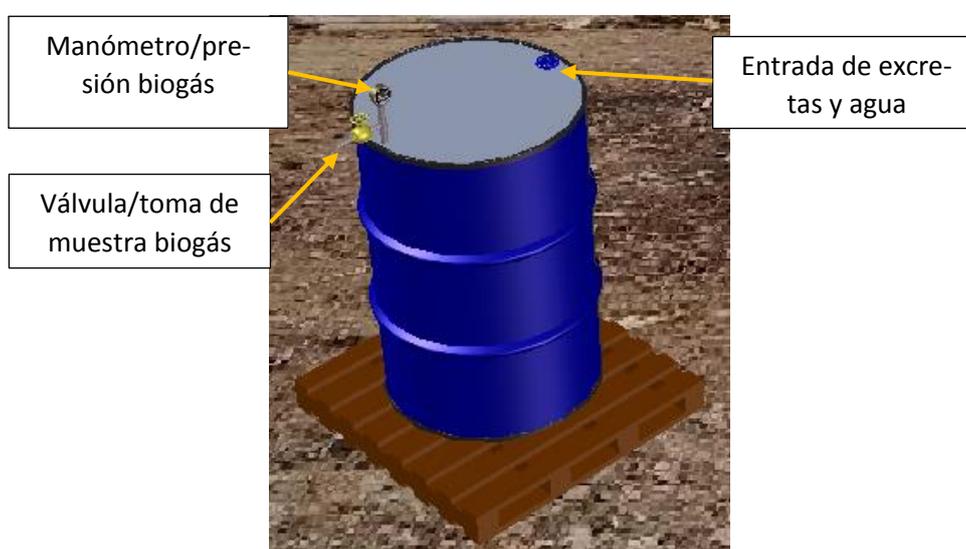


Figura 2. Biodigestor casero tipo Batch discontinuo, el cilindro con la muestra de excretas está expuesto al sol para producir la digestión anaerobia.

Tabla 9. Composición del biogás

Componentes	Fórmula	Volumen (%) *	% **
Metano	CH_4	40 – 70	40 – 70
Dióxido de carbono	CO_2	30 – 60	30 – 60
Hidrógeno	H_2	0-1	0.1
Nitrógeno	N_2		0.5
Monóxido de carbono	CO		0.1
Sulfato de hidrogeno	H_2S	0 - 3	

*Magaña, R. et al., 2006

** Severiche, et al., 2014

Existen rangos de temperatura que determinan el proceso anaeróbico en el digestor, a medida que aumenta la temperatura de fermentación, la velocidad de generación aumenta, siempre y cuando la multiplicación de microorganismos

generadores lo toleren. Como nuestra investigación es determinar la generación de biogás a condiciones ambientales, el proceso se desarrolló a temperatura del medio (25°C) para la época.

Arrieta (2016), muestra el rango de estas temperaturas, tal como se muestra en la tabla 10. (p. 34)

Tabla 10. Rangos de Temperaturas y tiempo de digestión anaeróbica.

Fermentación	Mínimo	Óptimo	Máximo	Tiempo
Psicrofílica	4 – 10 °C	15 – 18 °C	20 – 25 °C	Sobre 100 días
Mesofílica	15 – 20 °C	25 – 35 °C	35 – 45 °C	30 – 60 días
Termofílica	25 – 45 °c	50 – 60 °C	75 – 80 °C	10 – 15 días

Fuente: Manual de biogás. Gobierno de Chile, Ministerio de Energía, 2011.

Arce (2011), presenta las fuentes de producción de metano (p. 17-18).

Los orígenes principales de metano son:

- Descomposición de los residuos orgánicos: 28%
- Fuentes naturales (pantanos): 23%
- Extracción de combustibles fósiles: 20% (El metano tradicionalmente se quemaba y emitía directamente, hoy día se intenta almacenar en lo posible para reaprovecharlo formando el llamado gas natural).
- Los procesos en la digestión y defecación de animales: 17%. (Especialmente del ganado).
- Las bacterias en plantaciones de arroz: 12%

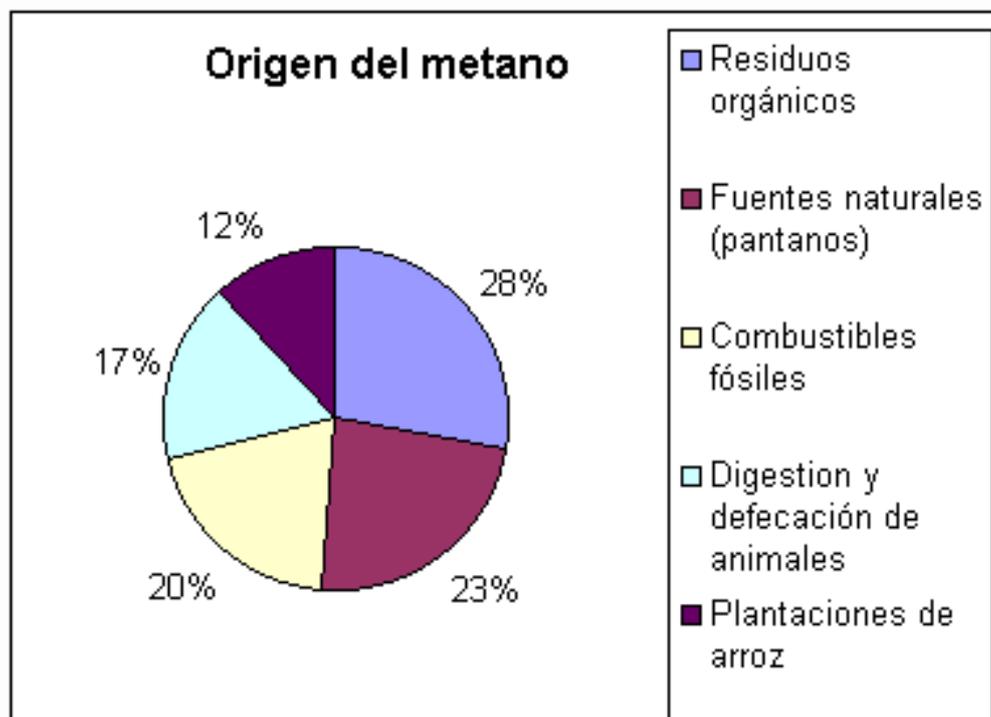


Figura 3. Fuentes de metano.

En el manual de biogás, del vecino país de Chile, se presenta la siguiente tabla para la producción de biogás para diferentes tipos de animal (p. 34)

Tabla 11. Producción de biogás por tipo de residuo animal.

Estiercol	Disponibilidad Kg/día*	Relación C/N	Volumen de biogás	
			m ³ /kg húmedo	m ³ /día/año
Bobino (500 kg)	10.00	25:1	0.04	0.400
Porcino (50 kg)	2.25	13:1	0.06	0.135
Aves (2 kg)	0.18	19:1	0.08	0.014
Ovino (32 kg)	1.50	35:1	0.05	0.075
Caprino (50 kg)	2.00	40:1	0.05	0.100
Equino (450 kg)	10.00	50:1	0.04	0.400
Conejo (3 kg)	0.35	13:1	0.06	0.021
Excretas humanas	0.40	3:1	0.06	0.025

Fuente: Varnero y Arellano, 1991 *Estiercol que es posible recolectar de todo el producto.

Tabla 12. Producción de biogás de varios tipos de estiércol/sustrato.

Tipo de sustrato/estiércol	Producción de biogás (m ³ /t)
Vacas	25
Cerdos	40
Pollos	65
Humano	30
Restos agrícolas	100
Restos de comida	220
Restos de cocina	600

El Manual de Biogas. Chile (2020), con el fin de poder comparar el efecto de los diferentes gases de efecto invernadero, a cada uno se le asigna un factor que representa una medida de su efecto invernadero o potencial de calentamiento global, en comparación con el CO₂ que se utiliza como gas de referencia (Tabla 13.). El CO₂ equivalente de gases de efecto invernadero se puede calcular multiplicando el potencial de efecto invernadero en relación con la masa del gas respectivo. Indica en términos de CO₂ el nivel de calentamiento global que tienen los otros gases de efecto invernadero, es decir, 1 tonelada de CH₄ es equivalente a 21 toneladas de CO₂ (p. 26)

Tabla 13. Potencial de calentamiento de los gases de efecto invernadero.

Gas	Potencial de calentamiento
CO ₂	1
CH ₄	21
N ₂ O	310
SF ₄	23 900
PFC	9 200
HFC	11 700

Fuente: CNE, 2006

Berra y et al. (2009), muestra una tabla de concentración de metano producido por una vaca Holstein en diferentes horarios (pp. 53-54).

Tabla 14. Volumen total de gas ruminal, concentración de metano (CH₄) en diferentes horarios y volumen de CH₄ producidos por una vaca Holstein seca de 550 kg de peso, durante tres periodos de 24 horas no consecutivos.

Periodo	Gas ruminal	Concentración de CH ₄ (L/L)					CH ₄
	(L/día)	14:00	20:00	02:00	08:00	Promedio	(L/día)
1	965	31	27	26	22	26.5	255.7
2	865	31	30	29	20	27.5	237.9
3	905	30	29	28	23	27.5	248.9

2.2. Marco conceptual

Para un cabal entendimiento de este trabajo, definimos los terminos básicos e importantes para su interpretación tal como son utilizados en el contexto de esta investigación.

Calidad del aire: Se mide con la concentración en ppm, que indica la presencia de sustancias contaminantes (gases o partículas) generadas en forma natural o antrópicas. En el Perú la calidad del aire se basa en el cumplimiento de los estándares de calidad del aire (ECA), que fijan los niveles de la presencia de contaminantes en el medio.

Ganado vacuno o bovino: Es el conjunto de vacas lecheras y toros (diferentes tipos de vacas).

Excretas: Es la biomasa orgánica (heces y orina) defecada por las vacas y que es la fuente generadora del biogás y por tanto el contaminante influyente en la calidad del aire analizado.

Biomasa: Material orgánico biodegradable originario de plantas, animales y microorganismos.

Metano: Hidrocarburo sencillo, volátil y reactivo, perteneciente al grupo de los alcanos, producido por la descomposición de los residuos orgánicos, de fórmula química CH_4 . Es una sustancia incolora e inodora, que se presenta en forma de gas a temperaturas y presiones ordinarias, y se caracteriza por su baja solubilidad en fase líquida y elevada persistencia en la atmósfera.

Dióxido de carbono: Gas inodoro e incoloro emitido en la respiración, flatulencias, en las fermentaciones y en la combustión. En la atmósfera tiene la función de mantener el calor para evitar que se congele. Este fenómeno se llama efecto invernadero. Es un subproducto del metabolismo celular de todos los seres vivos.

Biogás: Es un combustible de mediano contenido energético ($\sim 22\text{MJ/kg}$), obtenido como producto de la descomposición anaerobia de materia orgánica, que se genera en forma natural en pantanos, estómagos de rumiantes, excretas de animales, plantaciones de arroz, etc., o de manera artificial en sistemas llamados biodigestores. (Salazar, J., 2012, p.2)

Contaminación ambiental: Presencia en el ambiente de cualquier agente (físico, químico o biológico) o bien de una combinación de estos, en lugares, formas y concentraciones tales que sean o puedan ser nocivos para la salud, la seguridad o para el bienestar de la población, o bien, que puedan ser perjudiciales para la vida en general.

Efecto invernadero: Fenómeno por el que determinados gases componentes de la atmósfera del planeta retienen parte de la energía que el suelo emite al haber sido calentado por la radiación solar. De acuerdo con el actual consenso científico, el efecto invernadero se está acentuando en la tierra por la emisión de ciertos gases, como el dióxido de carbono y el metano, debido a la actividad económica humana. Este fenómeno evita que la energía del sol recibida constantemente por la tierra vuelva inmediatamente al espacio produciendo a escala planetaria un efecto similar al observado en un invernadero.

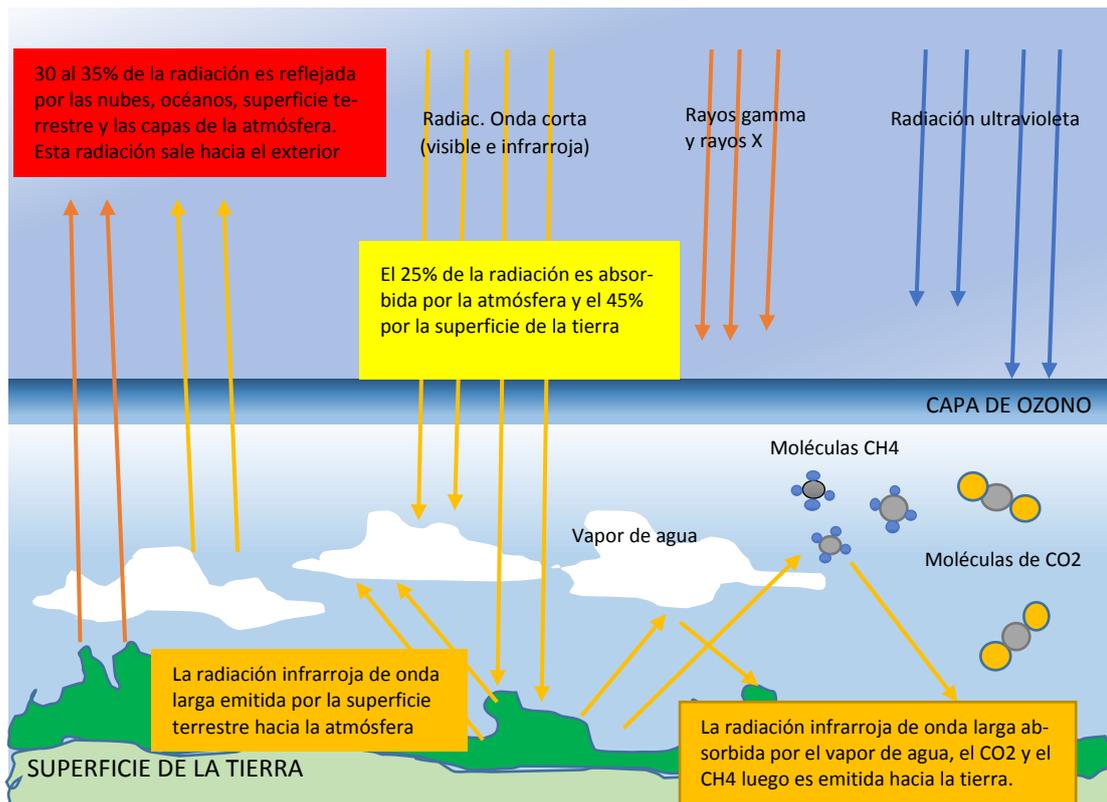


Figura 4. Efecto invernadero.

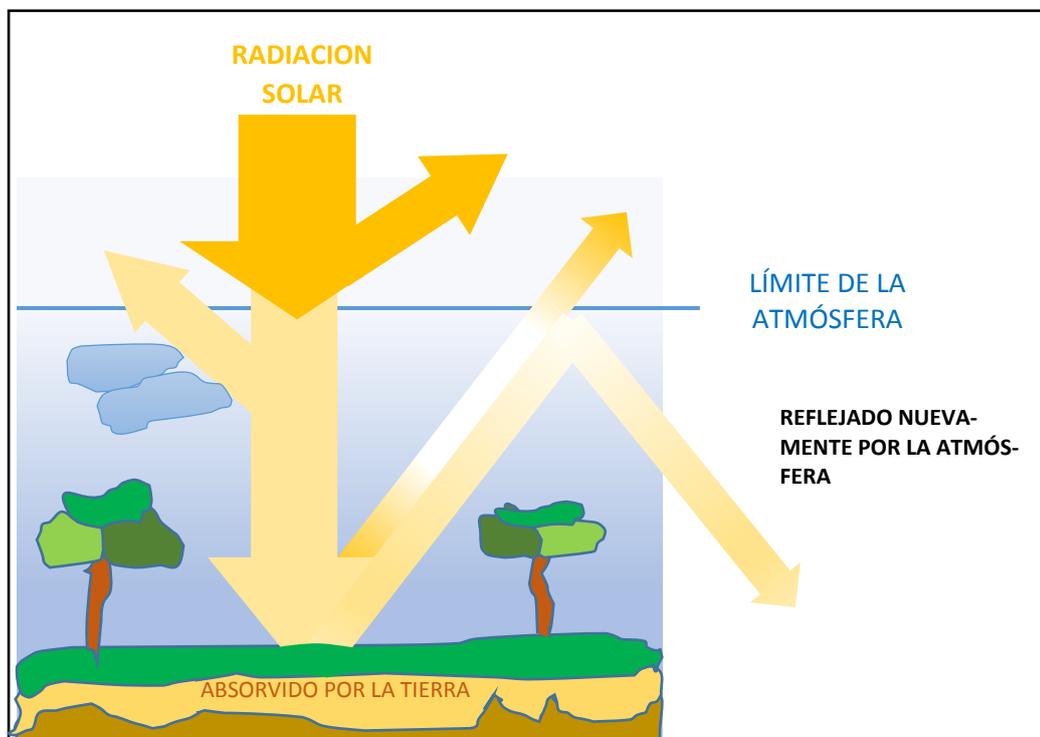


Figura 5. Energía térmica que no sale de la atmósfera.

Puede decirse que el efecto invernadero es un fenómeno atmosférico natural que permite mantener una temperatura agradable en el planeta, al retener parte de la energía que proviene del sol. El aumento de la concentración de dióxido de carbono (CO₂) proveniente del uso de combustibles fósiles y el metano (CH₄) proveniente de la descomposición orgánica ha provocado la intensificación del fenómeno invernadero.

Potencial de producción de biogás. Se refiere al volumen de gas teóricamente obtenible de las excretas del ganado vacuno, en función de la producción específica y de la cantidad disponible de materia orgánica, a condiciones normales de presión y temperatura del lugar de estudio.

Producción específica de gas. Es la cantidad de gas medido en m³ que se obtiene de las excretas de las vacas lecheras, de una masa determinada, durante un tiempo de retención dado y a la presión y temperatura del medio.

Fermentación anaeróbica: Fermentación que se produce en ausencia de oxígeno. Es el proceso en el cual microorganismos descomponen material biodegradable en ausencia de oxígeno, generando diversos gases, entre los cuales el dióxido de carbono y el metano son los más abundantes.

Biodigestor casero tipo Batch: Es un estanque rígido sobre el terreno, en donde la alimentación de la masa biodegradable se realiza discontinuamente (por lotes). La descarga de los residuos se efectúa al finalizar la producción de gas. Este biodigestor tiene la particularidad de que no sufre cambios térmicos violentos y su producción de biogás es en un proceso anaerobio. Produce biogás, biofertilizante sólido y líquido.

CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Parámetros de medición (indicadores)

Metano (CH₄), Dióxido de carbono (CO₂)

Calidad del aire en el el establo : ppm CH₄ y ppm CO₂ (variable dependiente)

Cantidad de CH₄ y CO₂ generado : g

Cantidad de excretas por día: Kg (variable independiente)

Temperatura de excretas: 298 °K

3.2. Área de estudio

Excretas de las 32 vacas del establo del sector Isla Blanca, Centro Poblado Pampa la Grama, Santa, Ancash – 2019.

3.3. Muestra

Por tener una población muestral homogénea, tomamos la muestra al azar simple y a criterio. Tomamos 20 kg de las excretas generadas en el día, que es aproximadamente 3.46 %, considerando que cada vaca genera 18.08 Kg/día, por tanto, el total de excretas generadas diariamente por las 32 vacas es de 578.56 Kg. Si escogemos una muestra mayor, la presión interna podría deformar al biodigestor de ensayo, cambiando las condiciones geométricas para nuestro cálculo.

Tamaño de muestra: 3.46 % de las excretas generadas por día = 20 Kg

Tipo de muestreo: al azar simple y a criterio.

Por las características del universo muestral (excretas de las 32 vacas lecheras) y el tipo de digestor utilizado, se usó una muestra pequeña. Inicialmente se pensó en usar el 10% de las excretas de un día (578.56 kg) que resulta 57.85 kg, pero en la práctica el gas generado por esta cantidad genera una presión excesiva para el digestor utilizado, lo cual no resulta apropiado. Se determinó usar 20 kg de excretas para el análisis.

N° vacas del establo: 32

Excretas por vaca y por día (promedio): 18.08 kg

Cantidad de excretas por día: 578.56 kg

Peso de la muestra: 20 kg (excreta fresca)

Para calcular las excretas producidas por cada vaca por día, se pesaron las excretas de 3 vacas durante tres días y se tomó el promedio, tal como se muestra en la tabla 15.

Tabla 15. Promedio de excretas por vaca/por día.

	Exc. día 1 (kg)	Exc. día 2 (kg)	Exc. día 3 (kg)	Prom/vaca (kg)
Vaca 1	17.50	16.40	18.20	17.37
Vaca 2	18.60	19.20	17.80	18.53
Vaca 3	18.20	17.90	18.90	18.33
Promedio diario/vaca establo				18.08

Para calcular la densidad y el volumen de la muestra se utilizó un recipiente cilíndrico de 39 cm de diámetro interior y 40 cm de altura. Llenamos agua hasta la mitad del recipiente y vaciamos 10 kg de excretas frescas, observando que el nivel de agua subió 10.10 cm, por tanto:

$$\begin{aligned} \text{Volumen excretas } (V_{\text{exc}}) &= \text{Area recipiente} \times \Delta h = \pi (39/2)^2 \times 10.10 \\ &= 12065.37 \text{ cm}^3 = 12.06537 \text{ L} \end{aligned}$$

$$\text{Densidad de la muestra en peso fresco } (\rho_m) = \text{peso excretas}/V_{\text{exc}}$$

$$= 10 \text{ kg}/12.06537 \times 10^{-3} \text{ m}^3 = 828.82 \text{ kg/m}^3$$

La limpieza del establo (evacuación del estiércol) se hace cada mes o mes y medio (30 – 45 días), lapso en el cual el agricultor que lo compra como guano, viene con su personal, lo coloca en sacos y se lo lleva. En la práctica se observa que a partir del día 45, prácticamente la generación de gas en el digestor se viene estabilizando, pero consideramos 45 días como límite de las mediciones por la evacuación de las excretas en el establo. La cantidad acumulada en ese lapso es:

$$\text{Peso excretas acumuladas en 45 días } (P_{\text{ac}}) = \text{Peso diario} \times 45 \text{ días}$$

$$P_{\text{ac}} = 578.56 \text{ kg/día} \times 45 \text{ días} = 26\,035.2 \text{ kg}$$

Como se observa es prácticamente 26 toneladas métricas acumuladas en el establo, antes de la evacuación.

3.4. Equipos utilizados

- Una balanza de mesa marca BERKEL, capacidad 10 kg, precisión +/- 10 gr, para pesar las excretas (balanza antigua sin numero de serie).
- Un biodigestor discontinuo tipo Batch para medir la generación de biogás, de fabricación casera (cilindro metálico de aceite industrial).
- Un manómetro de baja presión tipo Bourdon, marca REOTEMP, escala de 0 – 30 in H₂O, diámetro 2.5", serie PT25P1A4P03GS, precisión 1.6% a escala completa, conexión NPT 1/4".
- Un termómetro de contacto digital marca SKF, serie TKDT 10, escala de medición de -200 a 1372 °C, precisión +/-0.5% (1°C de la lectura), sonda TMDT 2-30.

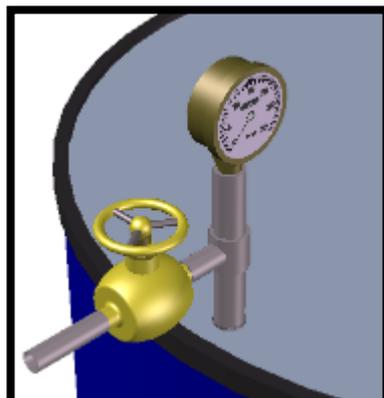


Figura 6. Instrumentos de medición

Para determinar la cantidad de biogás generado por las excretas de las vacas, usamos un biodigestor discontinuo casero tipo Batch, construido con un cilindro de aceite industrial, tal como el que se muestra en la figura 7., cuyas características mencionamos:

Volumen cilindro. (V_{cil}): 57.66 gal = 218.3 L = 0.2183 m³

Diámetro (\varnothing_c): 585 mm

Altura (h_c): 891 mm

Manómetro analógico de baja presión: tipo reloj de 0 – 30 plg. H₂O

Válvula de bola de cierre rápido $\varnothing 1/2''$

Espesor del cilindro (e): 0.9 mm

Material: acero al carbono



Figura 7. biodigestor instalado en el establo.

3.5. Levantamiento de información

Para hacer las mediciones y toma de datos, se escogió una muestra de 20 kg de excretas, cantidad escogida para evitar presiones excesivas en el biodigestor, durante la generación de biogás. El biodigestor casero utilizado fue el tipo batch construido de un cilindro de aceite lubricante industrial.

El procedimiento seguido para obtener el efecto del CH₄ y CO₂ sobre la calidad del aire del establo es el siguiente:

- 1) Recolección y pesaje de una muestra de excretas de tres vacas escogidas aleatoriamente, durante tres días.
- 2) Determinación de las excretas diarias en el establo.
- 3) Tomamos 20 kg de excretas frescas del lecho de la zona de forrajeo.
- 4) Introducción de la muestra en el biodigestor casero tipo batch.
- 5) Hermetización del biodigestor y colocación de la válvula de purga y del manómetro tipo reloj, medidor de presiones pequeñas en pulgadas de agua.
- 6) Lectura de la presión en el biodigestor cada dos días entre las 11.00 y 12.00 hrs.
- 7) Lectura de la presión del biodigestor durante 45 días.
- 8) Cálculo de la cantidad de biogás generado en m³ y en gramos, utilizando la ecuación de los gases reales e ideales.
- 9) Cálculo de las concentraciones de metano y dióxido de carbono en el establo, mediante los métodos de Celda Estacionaria y distribución Gaussiana.
- 10) Comparación de la calidad del aire del establo con los límites permisibles de los gases en cuestión. Usamos valores referenciales de la minería y legislaciones exteriores, debido a que la legislación peruana (MINAM) no establece estos límites para el medio ambiente.

3.6. Descripción del ensayo

Metemos la muestra (20 kg) mezclada con 10 litros de agua dentro del biodigestor, para tener una mezcla óptima de excretas- agua (1/0.5) para la fermentación anaeróbica. El biodigestor tuvo un tiempo de retención de la muestra de 45 días, llevándose el control de la variación de la presión ya que la fermentación se llevó a cabo a temperatura ambiente y esta es variable durante el día y para la temporada, entre 24 – 27 °C, considerándose un a producción mesofílica que está comprendida entre 20 – 35 °C.

Las mediciones en el biodigestor se llevaron a cabo del 13 octubre al 27 de noviembre del 2019, tiempo en el cual las temperaturas se mantuvieron relativamente estables entre el día y la noche.

Las lecturas de presión se hicieron cada 2 días y al medio día, así mismo las temperaturas anotadas son las del medio al momento de las lecturas. Las presiones en el digestor se tomaron en pulgadas de agua, tal como se observa en la tabla 21 del capítulo IV. también aparece en Pascales (N/m^2) y en PSI.

Para la investigación iniciamos midiendo y determinando la cantidad de excretas de las vacas del establo en Kg, generadas por día. Se seleccionaron 3 vacas en forma aleatoria y durante tres días se tomaron sus excretas frescas, para ser pesadas. Después del pesaje del tercer día se calculó el promedio ponderado de las tres vacas, el cual se tomó como el valor representativo de la deposición diaria por animal. Esta medición se hizo con una balanza casera

Los datos tomados, fueron las presiones en el biodigestor en forma interdiaria, durante 45 días, tiempo máximo proyectado para la evacuación de excretas en el establo. Este tiempo casi coincide con la estabilización de la generación de gas en el establo, tal como se muestra en las curvas realizadas. Las presiones se tomaron con un manómetro medidor de valores diferenciales (valores pequeños en pulgadas de agua), debido al valor numérico de las mismas.

3.7. Actividades del proceso investigativo

Los datos fueron recolectados directamente del biodigestor casero tipo Batch discontinuo, específicamente la toma de valores de presión, mediante la observación no participante. Las temperaturas variaron de acuerdo al clima, que es regularmente templado en la época de análisis, estas oscilaron entre 23 y 27 °C, razón por la cual para los cálculos trabajamos con 25°C (298°K). No hubo medición directa de la contaminación, para no medir la polución generada por la vegetación del medio (zona mayormente arrocera) y de las flatulencias y eructos de las vacas, que generan mucho más metano que las excretas. Las masas y concentraciones de gases se determinaron mediante cálculo.

El cálculo del biogas se ejecutó matemáticamente a partir de los datos tomados, así mismo las concentraciones en el aire atmosférico del medio, para evitar

tomar valores de contaminación exterior, diferente a las concentraciones exclusivas del biogas de las excretas. Es necesario aclarar que la zona del establo es un medio rural en donde buena parte de los terrenos corresponden a sembríos de arroz, el cual genera metano anaeróbico en forma natural, sumando a esto lo que emiten las vacas por sus eructos y flatulencias. Esta consideración imposibilita el uso de dispositivos medidores, para los fines de nuestro estudio.

La generación máxima de biogás en el establo lo hemos realizado por la superposición de las generaciones diarias de gas, hasta el día 45. En nuestros cálculos no hemos considerado el día 30, a pesar de que la remoción de estiércol se realizan en ese lapso (30 - 45 días), sólo consideramos el máximo tiempo de permanencia de las excretas en el sitio, para tener así el valor de la máxima generación de biogas, para calcular la máxima concentración en el establo.

- 1) Se definió el tema de análisis y se hizo el planteamiento del problema de investigación, el cual es determinar la contaminación del aire del establo con el metano y dióxido de carbono generado por las excretas de las vacas lecheras.
- 2) Se hizo la revisión de la bibliografía relacionado al tema de contaminación pecuaria y de la contaminación del aire por metano y dióxido de carbono, obteniendo el marco teórico que fundamenta esta investigación.
- 3) Se definió claramente el problema, plasmando la hipótesis: Las excretas del ganado vacuno generan GEI metano y dióxido de carbono que afectan la calidad del aire en el establo del Sector Isla Blanca del Centro Poblado Pampa la Grama, Provincia del Santa, Ancash, en el 2019.
- 4) Se caracterizó el cuadro de operacionalización de la dependencia de la contaminación del aire del establo ocasionada por las excretas de las vacas, por medio de la investigación no experimental descriptiva explicativa.
- 5) Se escogió la muestra y mediante un biodigestor casero tipo Batch, se hicieron la toma de datos de presión para luego calcular la cantidad de biogás generado.
- 6) Se cuantificó la cantidad máxima de biogás por superposición de valores de las generaciones diarias, hasta día 45, que es el límite de remoción del estiércol en el establo.

- 7) Se calcularon las concentraciones de CH_4 y CO_2 en el establo determinándose el grado de contaminación del medio.

3.8. Cálculo de la masa de CH_4 y CO_2 generados en el biodigestor Batch

Hemos utilizado 20 kg de excretas frescas, el tiempo de generación de gas (generación anaeróbica) fue de 45 días, alcanzando una presión máxima dentro del biodigestor de 16.79 pulg. H_2O equivalente a 4178.0236 Pascales.

De acuerdo al análisis del gas generado en el biodigestor, realizado con el Cromatógrafo de gases Clarus 500, marca Perkin Elmer, serie 651N4123001, se determinó que el 59% del volumen corresponde al CH_4 y el 38.5% al CO_2 y el 2.5% corresponde a otras moléculas gaseosas (H_2 , N_2 y otros). Como observamos, la presencia de otros gases y trazas moleculares en el biogás generado tiene un porcentaje pequeño y en nuestro caso, no es parte de nuestra investigación.

Para calcular las masas de CH_4 y CO_2 generados, puesto que tenemos los porcentajes volumétricos de estos gases, debemos aplicar la ley de volúmenes parciales para los gases de Amagat:

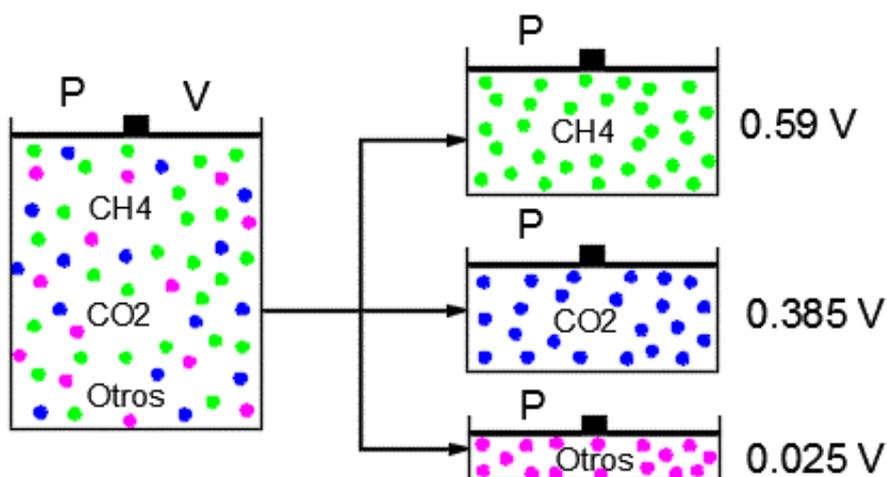


Figura 8. Distribución de Amagat.

Donde:

P : presión máx. del gas en el biodigestor

$$P = 16.79 \text{ plg.H}_2\text{O} = 4178.0236 \text{ N/m}^2$$

V: volumen ocupado por el gas en el biodigestor

$$V = V_{cil} - V_{exc} - V_{H_2O} \quad (1)$$

El volumen de las excretas (V_{exc}) es la masa de los 20 kg de muestra entre su densidad.

$$V_{exc} = \frac{masa}{\rho_m} = \frac{20}{828.82} m^3 = 24.131 \times 10^{-3} m^3$$

El volumen de H₂O es los 10 litros de agua usado en el biodigestor

$$V_{H_2O} = 10 L = 10^{-2} m^3$$

Reemplazando en (1)

$$V = 0.2183 - 0.024131 - 0.01 = 0.184169 m^3$$

Luego el volumen de CH₄ y CO₂ sería:

$$V_{CH_4} = 0.59V = 0.59(0.184169) = 0.108660 m^3$$

$$V_{CO_2} = 0.385V = 0.385(0.184169) = 0.070905 m^3$$

Para calcular la masa de los gases debemos conocer el número de moles de cada uno de ellos, en las condiciones de presión y volumen del digestor. Puesto que hemos tomado una muestra pequeña, es necesario ser lo más exacto posible en este cálculo, ya que estos valores serán la base para la generalización para el volumen de las excretas producidas en el establo. Esto implica usar la ecuación de los gases reales de Van der Waals.

Cálculo de la masa de CH₄

$$\left(P + \frac{a\eta^2}{V_{CH_4}^2} \right) (V_{CH_4} - \eta b) = \eta RT$$

Donde a y b son las constantes de Van der Waals para el metano.

$$a = 0.2283 \frac{Jm^3}{mol^2}$$

$$b = 0.04278 \times 10^{-3} \frac{m^3}{mol}$$

Desarrollando la ecuación en función del número de moles η del metano:

$$(PV_{CH_4}^2 + a\eta^2)(V_{CH_4} - \eta b) = \eta RTV_{CH_4}^2$$

$$PV_{CH_4}^3 - PV_{CH_4}^2\eta b + a\eta^2V_{CH_4} - a\eta^3b = \eta RTV_{CH_4}^2$$

$$ab\eta^3 - aV_{CH_4}\eta^2 + (Pb + RT)V_{CH_4}^2\eta - PV_{CH_4}^3 = 0$$

$$\eta^3 - \left(\frac{V_{CH_4}}{b}\right)\eta^2 + \left(\frac{Pb + RT}{ab}\right)V_{CH_4}^2\eta - \left(\frac{PV_{CH_4}^3}{ab}\right) = 0$$

$$R = 8.314472 \frac{J}{mol K} \quad ; \quad T = 298 K$$

Reemplazando valores se tiene la función de η :

$$\eta^3 - 2539.972\eta^2 + 2993927.9326\eta - 548824.258 = 0$$

Resolviendo la ecuación obtenemos:

$$\eta_{CH_4} = 0.183341 \text{ mol}$$

Luego

$$Masa_{CH_4} = (\eta_{CH_4}) \times (Masa \text{ molecular})_{CH_4}$$

$$Masa_{CH_4} = 0.183341 \text{ mol} \times 16.04 \frac{g}{mol} = 2.9408 \text{ g}$$

Cálculo de la masa de CO₂

$$\left(P + \frac{a\eta^2}{V_{CO_2}^2}\right)(V_{CO_2} - \eta b) = \eta RT$$

Donde a y b son las constantes de Van der Waals para el dióxido de carbono.

$$a = 0.364 \frac{Jm^3}{mol^2}$$

$$b = 0.04267 \times 10^{-3} \frac{m^3}{mol}$$

Desarrollando la ecuación en función del número de moles η dióxido de carbono:

$$(PV_{CO_2}^2 + a\eta^2)(V_{CO_2} - \eta b) = \eta RTV_{CO_2}^2$$

$$PV_{CO_2}^3 - PV_{CO_2}^2 \eta b + a \eta^2 V_{CO_2} - a \eta^3 b = \eta RT V_{CO_2}^2$$

$$ab \eta^3 - a V_{CO_2} \eta^2 + (Pb + RT) V_{CO_2}^2 \eta - PV_{CO_2}^3 = 0$$

$$\eta^3 - \left(\frac{V_{CO_2}}{b}\right) \eta^2 + \left(\frac{Pb + RT}{ab}\right) V_{CO_2}^2 \eta - \left(\frac{PV_{CO_2}^3}{ab}\right) = 0$$

$$R = 8.314472 \frac{J}{mol K} ; \quad T = 298 K$$

Reemplazando valores se tiene la función de η :

$$\eta^3 - 1661.706 \eta^2 + 801637.91186 \eta - 95890.91139 = 0$$

Resolviendo la ecuación obtenemos:

$$\eta_{CO_2} = 0.1196484 \text{ mol}$$

Luego

$$Masa_{CO_2} = (\eta_{CO_2}) \times (Masa \text{ molecular})_{CO_2}$$

$$Masa_{CO_2} = 0.1196484 \text{ mol} \times 44.01 \frac{g}{mol} = 5.265726 \text{ g}$$

3.9. Cálculo del volumen de CH₄ y CO₂ generados por la muestra a condiciones normales

De acuerdo al análisis del gas generado en el biodigestor, se determinó que el 59% del volumen corresponde al CH₄ y el 38.5% al CO₂ y el 2.5% corresponde a otras moléculas gaseosas. Para determinar el volumen de los gases en estudio, a condiciones normales (25°C, 1.013 bar) conociendo sus masas, simplemente usaremos el valor de sus densidades a esa condición.

$$\rho_{CH_4} = 0.656 \text{ Kg/m}^3 = 0.656 \text{ g/L} ,$$

$$\rho_{CO_2} = 1.976 \text{ kg/m}^3 = 1.976 \text{ g/L}$$

Luego:

$$V_{CH_4} = \frac{Masa_{CH_4}}{\rho_{CH_4}} = \frac{2.9408 \text{ g}}{0.656 \frac{g}{L}} = 4.4829 \text{ L}$$

$$V_{CO_2} = \frac{Masa_{CO_2}}{\rho_{CO_2}} = \frac{5.265726 \text{ g}}{1.976 \frac{g}{L}} = 2.6648 \text{ L}$$

3.10. Cálculo de la evolución en la generación de masa de gases durante los 45 días en el digestor

La generación de los gases es simultánea y el volumen disponible del digestor es el mismo, la proporción de volúmenes ocupados por cada uno de ellos es el mismo durante todo el proceso, por tanto, lo que varía es la presión ya que con el transcurrir del tiempo aumenta la masa (número de moles) de los gases.

$$V = 0.184169 \text{ m}^3 \text{ (volumen disponible del digestor)}$$

$$V_{CH_4} = 0.59(0.184169) = 0.108660 \text{ m}^3 \text{ (constante en el digestor)}$$

$$V_{CO_2} = 0.385(0.184169) = 0.070905 \text{ m}^3 \text{ (constante en el digestor)}$$

Aplicando la ecuación de Van der Waals para el CH₄ y CO₂:

Para el CH₄:

$$\left(P + \frac{a\eta^2}{V_{CH_4}^2} \right) (V_{CH_4} - \eta b) = \eta RT$$

Despejando la ecuación en función de η

$$\eta^3 - \left(\frac{V_{CH_4}}{b} \right) \eta^2 + \left(\frac{Pb + RT}{ab} \right) V_{CH_4}^2 \eta - \left(\frac{PV_{CH_4}^3}{ab} \right) = 0$$

Reemplazando los valores de V_{CH_4} , a , b , R , T , conocidos para el metano, en la expresión anterior, tenemos una expresión en función de la presión P y del número de moles η tal como sigue:

$$\eta^3 - 2539.972\eta^2 + (0.05172P + 2993711.8577)\eta - 131.3598P = 0 \quad (2)$$

Sabemos también que la masa del metano es:

$$Masa_{CH_4} = (\eta_{CH_4}) \times (Masa \text{ molecular})_{CH_4} = (\eta_{CH_4}) \times (16.04) \quad (3)$$

Para el CO₂:

$$\left(P + \frac{a\eta^2}{V_{CO_2}^2} \right) (V_{CO_2} - \eta b) = \eta RT$$

Despejando la ecuación en función de η

$$\eta^3 - \left(\frac{V_{CO_2}}{b}\right)\eta^2 + \left(\frac{Pb + RT}{ab}\right)V_{CO_2}^2\eta - \left(\frac{PV_{CO_2}^3}{ab}\right) = 0$$

Reemplazando los valores de V_{CO_2} , a , b , R , T , conocidos para el dióxido de carbono, en la expresión anterior, tenemos una expresión en función de la presión P y del número de moles η tal como sigue:

$$\eta^3 - 1661.706\eta^2 + (0.01381P + 801580.20556)\eta - 22.95126P = 0 \quad (4)$$

Sabemos también que la masa del dióxido de carbono es:

$$Masa_{CO_2} = (\eta_{CO_2}) \times (Masa\ molecular)_{CO_2} = (\eta_{CO_2}) \times (44.01) \quad (5)$$

Reemplazando los valores de las presiones P tomadas en el digestor en las ecuaciones (2) y (4) y resolviendo respecto del número de moles η hallaremos con ayuda de las relaciones (3) y (5) el crecimiento de la masa de gases CH_4 y CO_2 respectivamente, generado por la muestra de excretas dentro del digestor. Estos valores están tabulados en la **tabla 22**, del capítulo IV.

3.11. Cálculo de las masas de CH_4 y CO_2 generados en el establo por las excretas acumuladas durante un día.

El biodigestor Batch se utilizó para determinar la generación de gas con una muestra de 20 kg de excretas, durante 45 días, pero el establo de estudio está compuesto por 32 vacas que producen 578.56 kg/día. Entonces la generación de gas por día lo podemos calcular generalizando la producción de la muestra, mediante las relaciones:

$$Masa_{CH_4/dia} = (578.56/20) \cdot Masa_{CH_4} = 28.928 Masa_{CH_4} \quad g \quad (6)$$

$$Masa_{CO_2/dia} = (578.56/20) \cdot Masa_{CO_2} = 28.928 Masa_{CO_2} \quad g \quad (7)$$

Donde:

$Masa_{CH_4/dia}$: masa de metano generado por excretas de un día en el establo

$Masa_{CH_4}$: masa de metano generado por la muestra por día

$Masa_{CO_2/dia}$: masa de dióxido de carbono generado por excretas de un día en el establo

$Masa_{CO_2}$: masa de dióxido de carbono generado por la muestra por día

Entonces utilizando las relaciones (6), (7) y los valores de las masas de la **tabla 22**, elaboramos la **tabla 23** (ver capítulo IV), del proceso diario de generación de masa en el establo, por las excretas acumuladas en un día.

Nota: Puesto que, en el biodigestor las mediciones se hicieron inter diarias, las masas de los días impares, en la tabla 23, lo hallamos por interpolación de los valores de los días pares.

3.12. Cálculo del volumen de CH₄ y CO₂ a condiciones normales generados en el establo por las excretas acumuladas durante un día.

Con el proceso de generación de masa diaria, podemos también calcular el proceso de generación de volumen diario a condiciones normales (25°C y 1.013 bar) de los gases en el establo, usando la densidad a esas condiciones. Las relaciones son:

$$V_{CH_4/CN} = \frac{Masa_{CH_4}}{\rho_{CH_4/CN}} m^3 \quad (8)$$

$$V_{CO_2/CN} = \frac{Masa_{CO_2}}{\rho_{CO_2/CN}} m^3 \quad (9)$$

Donde:

$$\rho_{CH_4/CN} = 0.656 \frac{g}{L} \quad (\text{densidad } CH_4 \text{ a condiciones normales})$$

$$\rho_{CO_2/CN} = 1.976 \frac{g}{L} \quad (\text{densidad } CO_2 \text{ a condiciones normales})$$

$V_{CH_4/CN}, V_{CO_2/CN}$: volúmenes de CH₄ y CO₂ a condiciones normales

$Masa_{CH_4}, Masa_{CO_2}$: Masa de los gases

El crecimiento de las masas de los gases está tabulada en la **tabla 23** y con las relaciones (8) y (9), calculamos los valores de los volúmenes, los cuales se encuentran especificados en la **tabla 24**, del capítulo IV.

3.13. Generación real de CH₄ y CO₂ en el establo

Hasta el momento hemos calculado la evolución de la generación de gases CH₄ y CO₂, por la acumulación de un día de excretas, estas diariamente se van acumulando y durante los 45 días los residuos son capaces de generar hasta su evacuación del establo. En realidad, los 578.56 kg de residuos son producidos todos los días por las vacas, por tanto, estos se van acumulando y cada día tenemos mayor cantidad de excretas que producen gas, pero estarán desfasadas en sus etapas de fermentación, considerando las frescas con las que se van envejeciendo respecto a su producción. Esto sucederá hasta el momento de la limpieza y/o evacuación de las mismas en el establo, cosa que para nuestro análisis hemos considerado 45 días, por tanto, las curvas de generación de gas de las excretas diarias se van superponiendo. Es preciso observar que los valores expuestos para evolución de la masa en la tabla 23, son valores totales acumulados desde el día 1 hasta el día de cálculo, o sea que el valor del día 45, por ejemplo, es la masa total de los gases generados hasta ese día, ya que estamos haciendo la similitud con la muestra, donde el biogás se almacena en un recipiente cerrado (biodigestor). En el establo estos gases no se acumulan y diariamente se difunden en el medio por lo cual debemos hallar la generación día por día y determinar en que momento se genera la mayor cantidad de los mismos superponiendo las curvas de las excretas que se van acumulando diariamente. En la figura 9, observamos la curva total del gas (CH₄ o CO₂) y los diferenciales de masas generados cada día ($\Delta m_1, \Delta m_2, \Delta m_3, \dots, \Delta m_{45}$). Los valores de los Δm_i lo mostramos en la **tabla 25**, del capítulo IV.

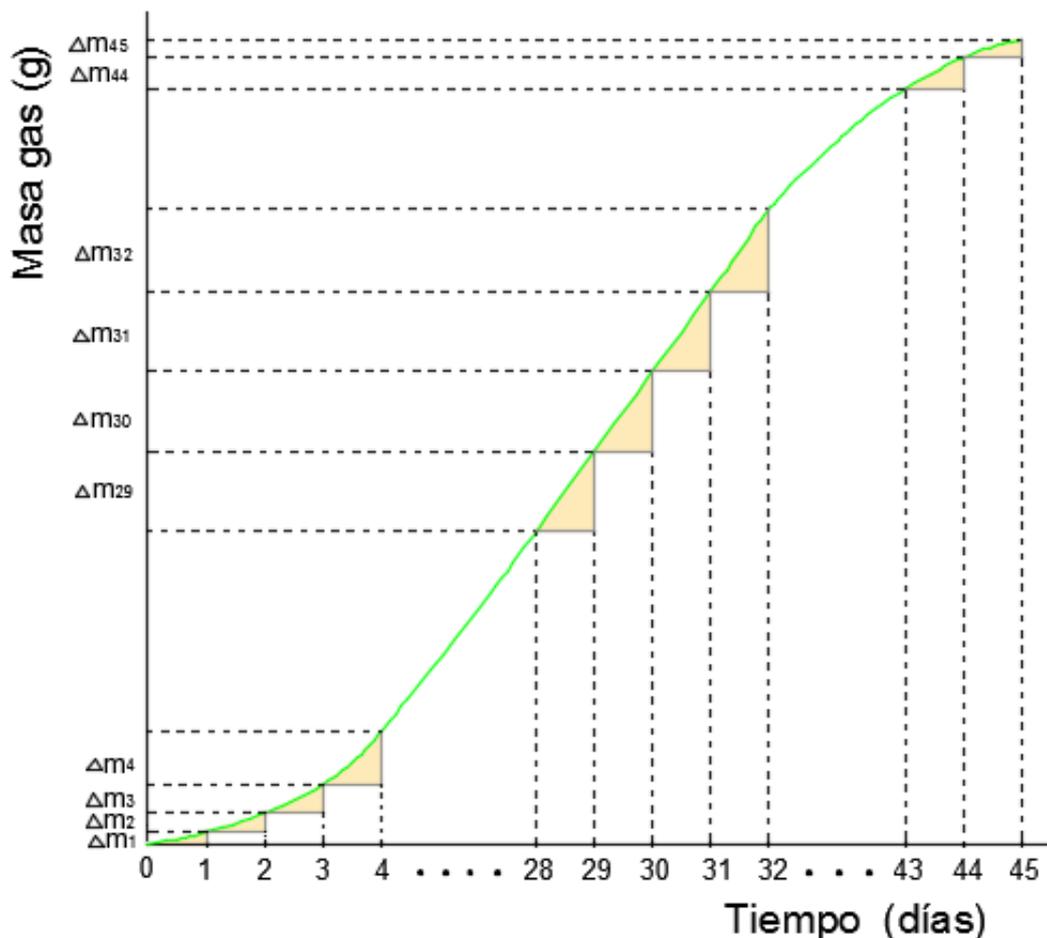


Figura 9. Curva total del gas mostrando los diferenciales de masa durante su evolución.

Para determinar la máxima cantidad de gas que puede acumularse en el establo, en un día determinado, desfasamos y superponemos los valores encontrados para las excretas acumuladas en un día.

Nomenclatura:

$\Delta m_{i_{CH_4}}$: masa real de metano generado por las excretas acumuladas en un día, en el día $i = 1, 2, 3, \dots, 45$ (**tablas 25**, capítulo IV)

$\Delta m_{ti_{CH_4}}$: masa total real de metano generado por las excretas acumuladas en el establo hasta el día $i = 1, 2, 3, \dots, 45$ (**tablas 26**, capítulo IV)

$\Delta m_{i_{CO_2}}$: masa real de dióxido de carbono generado por las excretas acumuladas en un día, en el día $i = 1, 2, 3, \dots, 45$ (**Tablas 25**, capítulo IV)

Δm_{iCO_2} : masa total real de dióxido de carbono generado por las excretas acumuladas en el establo hasta el día $i = 1, 2, 3, \dots, 45$ (**Tablas 27**, capítulo IV).

Utilizando los valores de la tabla 25, desfasamos los valores para obtener los valores reales de las masas generadas diariamente en el establo, tal como observamos en la **tabla 26** y figura 16, para el metano y en la **tabla 27** y figura 17, para el dióxido de carbono. Ver tablas en el capítulo IV.

3.14. Concentración de los gases contaminantes en el establo

Luego de haber determinado la cantidad de gases (CH_4 y CO_2), vamos a calcular la concentración de los mismos en el establo. Como hemos podido observar la cantidad de masa de gases contaminantes generados por los volúmenes de excretas de estudio, es relativamente pequeña por lo que no se espera una concentración realmente considerable en el recinto, para los límites establecidos de contaminación.

Como es conocido, la concentración de contaminantes son protocolos matemáticos que estiman este parámetro en función de una serie de factores, que en nuestro caso son de tipo meteorológico, de cantidad y velocidad de emisión, en la zona de estudio. Consideraremos:

- Cantidad de biogás emitido por unidad de tiempo en el establo, zona de forrajeo.
- Velocidad y dirección del viento (prácticamente estable en nuestro caso).
- Estabilidad atmosférica del recinto (temperatura con pequeñas variaciones durante el día).
- Dimensiones limitadas para la concentración máxima del contaminante.

Como la generación del biogás es un vertido homogéneo, el modelo de concentración de celda fija estacionaria resulta el más adecuado.

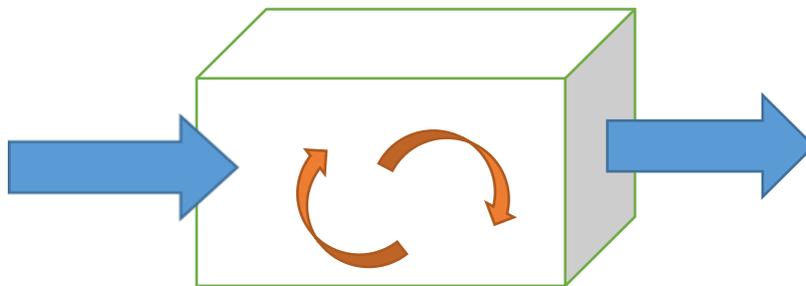


Figura 10. Balance de materia. La concentración en la celda depende del flujo de entrada y salida y de la generación de biogás en el interior (establo).

El balance de materia en el establo sería:

$$\frac{dC}{dt} = \text{veloc. entrada} + \text{veloc. generación} - \text{veloc. salida}$$

dC/dt : *veloc. de acumulación del gas (g/m^3s)*

Para el caso del establo, esta derivada será positiva y en aumento hasta el día 45. Si en el establo la masa de excretas siguiera acumulándose más allá del día 45 (sin evacuación), el biogás generado seguirá en aumento hasta que las curvas de generación del estiércol viejo (en decadencia) y el estiércol fresco (en aumento) se equilibren en un valor constante en el tiempo, tal como mostramos en la figura 11 esquemática sin escala.

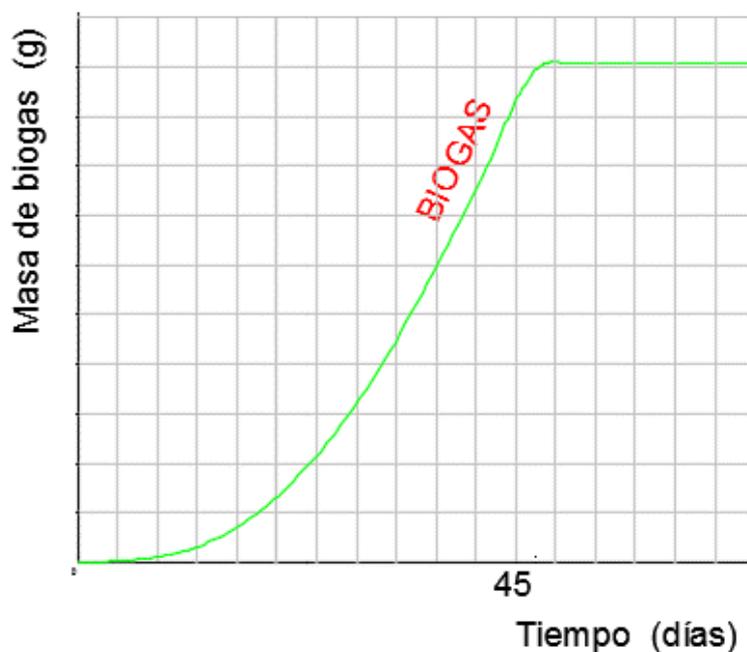


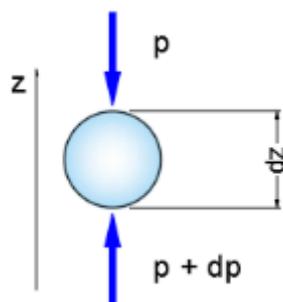
Figura 11. Tendencia de la generación de biogás en el establo.

3.15. Fundamentos para considerar atmósfera estable

Esta condición atmosférica es importante ya que el biogás se concentrará en la medida que la condición ambiental se lo permita. En el establo se observa que no existen turbulencias fuertes de aire, ya que este presenta pequeñas velocidades de traslado por lo que las corrientes convectivas se reducen al mínimo, por tanto, las concentraciones se dan a ras del suelo y a pequeñas alturas. Además, influye sobre manera la masa molecular del biogás que es de 60.05 g/mol (antes de difundirse), respecto a la masa molecular promedio del aire que es de 28.88 g/mol.

Es necesario considerar que la estabilidad vertical en la atmósfera es un factor muy importante en la dispersión de los contaminantes ($\text{CH}_4 + \text{CO}_2$), por tanto, debemos determinar la variación de la temperatura atmosférica con la altura respecto al suelo. El valor característico es el **gradiente adiabático del aire**. Por cuestión de simplicidad y considerando las masas moleculares del aire del medio y de los gases que se dispersan, nos interesa las variaciones de temperatura a pequeñas alturas por lo que el cálculo del gradiente adiabático del aire seco será suficiente.

Hemos experimentado con pequeñas burbujas de jabón y estas no se elevan más de 4m antes de caer. En el establo podemos asumir que ascienden en forma adiabática, por lo que no intercambian calor con el entorno: $\delta Q = 0$



$$dp = -\rho g dz$$

El aire atmosférico puede considerarse ideal, si aplicamos la ecuación de los gases, tenemos:

$$\frac{\partial p}{\partial z} = -\rho g = -gp \frac{M}{1000R} \quad (10)$$

En la ecuación (a) entendemos que nos interesa la variación de la presión p con la altura Z por eso lo expresamos como una derivada parcial siendo M la masa molecular del aire en g/mol, de allí el factor 1000 es para expresarlo en kg/mol.

Sabemos también que el calor transferido se calcula por la ecuación termodinámica:

$$\delta Q = Cp dT - V dp \quad (11)$$

De acuerdo a lo considerado, el proceso es adiabático ($\delta Q=0$) y el aire se comporta como gas ideal, resultando que:

$$V = RT/p \quad (12)$$

Por tanto, combinando las ecuaciones (11) y (12) tenemos:

$$\frac{\partial T}{\partial p} = \frac{RT}{pC_p} \quad (13)$$

El gradiente adiabático seco del aire atmosférico está dado por la relación $\partial T/\partial z$, por tanto, combinando las ecuaciones (10) y (13) obtenemos la relación buscada:

$$\lambda = \frac{\partial T}{\partial z} = \frac{\partial T}{\partial p} \frac{\partial p}{\partial z} = -\frac{gM}{C_p} \quad (14)$$

La masa molecular M del aire es 28.88 g/mol, usamos el factor 1000 para expresarlo en Kg/mol, además el aire atmosférico se puede considerar como un gas diatómico ideal, sin humedad por estar tratando del coeficiente adiabático seco, tendremos:

$$C_p = 7R/2$$

La ecuación (14) se convierte en:

$$\lambda = \frac{\partial T}{\partial z} = -\frac{gM}{C_p} = -\frac{2gM}{1000 \cdot 7R} = \frac{9.73 \text{ K}}{1000 \text{ m}}$$

De la expresión se deduce que el aire se enfría aproximadamente un grado por cada 100 metros que asciende, que, para las consideraciones de nuestro caso, que asumimos la difusión de CH_4 y CO_2 a pequeñas alturas en el establo de estudio, es despreciable, por lo cual podemos considerar una atmósfera estable.

En el establo se observa que la burbuja a una pequeña altura (estimada en 4 metros aprox.) baja nuevamente, lo que indica que está más fría que el medio por lo que consideramos que es más densa que la atmósfera. Esto corrobora la estabilidad del entorno en la zona de forrajeo del establo, que es donde las vacas depositan sus excretas.

La condición más influyente para la estabilidad del medio es que las corrientes de aire son muy suaves, los gases generados por las excretas están casi a la misma temperatura del medio.

3.16. Análisis del modelo de la celda fija estacionaria asumida (método 1)

El caso de estudio es la emisión difusa de biogás por las excretas de las vacas lecheras en el recinto del establo, por tanto, vamos a tomar las siguientes consideraciones:

- El Establo, zona de forrajeo y descanso de las vacas, es un rectángulo cuyas dimensiones físicas para el cálculo son: $B = 12\text{m}$ (tomado perpendicular al viento), $L = 40\text{m}$ tomado en la dirección del viento, ya que es lógico que los gases tengan su mayor concentración en la dirección de arrastre.
- Evaluamos la condición más desfavorable por ser este un trabajo sobre impacto en el establo.
- La estabilidad atmosférica, origina la condición para que la mezcla de los gases contaminantes analizados, se realice hasta una altura de $H=4\text{m}$, en la zona del establo.
- Como la emisión de CH_4 y CO_2 es pequeña (de acuerdo a los valores encontrados por los cálculos), asumimos que, en la celda tomada la concentración C es homogénea y allí es donde toma su máximo valor.
- El viento promedio hallado por las mediciones hechas en el establo, tiene un valor de $v = 2.2 \text{ m/s}$ en la dirección X paralela a L .
- No estamos analizando la contaminación del medio (contaminación de fondo) que entra del exterior a la celda asumida para el análisis, puesto que nuestra intención es calcular la concentración de CH_4 y CO_2 generado por las excretas de las vacas en el establo.
- Las emisiones por unidad de área es q (en $\text{g}\cdot\text{s}^{-1}\text{m}^{-2}$), por lo que la emisión total es $Q = q \cdot A$, donde $A = B \cdot L$ (base de la celda).

Las emisiones, tal como se muestra en las figuras 16 y 17 del capítulo IV, es variable hasta el día 45 (curva con pendiente creciente, tomando un valor constante entre los días 18 y 32, para luego decrecer ligeramente, siempre con valor positivo, hasta el día 45). En nuestro estudio nos interesa determinar la máxima concentración, para compararlo con la concentración máxima permisible para cada gas.

- Consideramos también que ningún otro contaminante entra o sale por los lados laterales de la celda (en forma perpendicular a la dirección del viento).

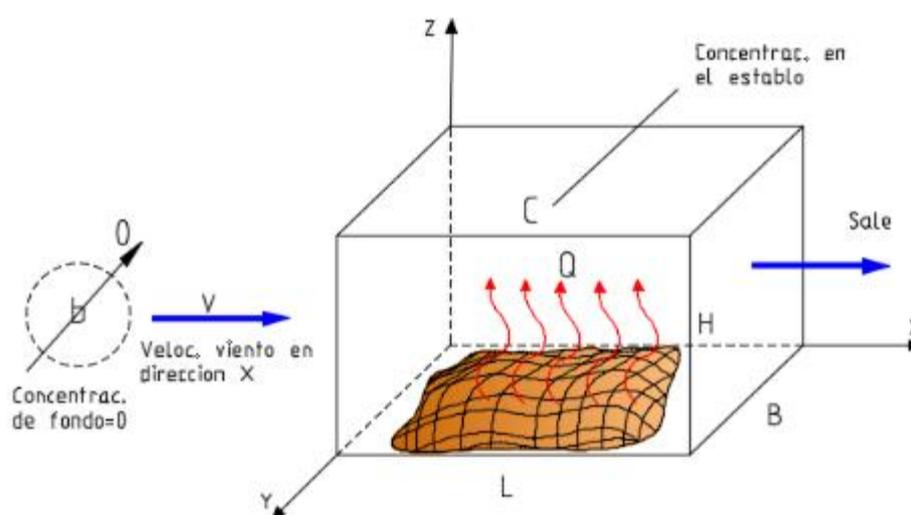


Figura 12. Modelo de celda para nuestro cálculo en el establo.

En la celda anterior establecemos el balance de materia, tal como sigue:

$$vbBH + qBL - vCBH = BLH \cdot \frac{dC}{dt} \quad (15)$$

Donde:

$vbBH$: concentración de fondo que entra = 0

qBL : emisión de biogás (CH_4 y CO_2) en el establo

$vCBH$: concentración de biogás (CH_4 y CO_2) que sale

$BLH \cdot \frac{dC}{dt}$: concentración que se acumula

En la celda tomada en el establo, se supone que en algún momento se logra la condición estacionaria, en donde la concentración C es independiente del tiempo,

por lo que su derivada es cero. Allí el balance de materia, ecuación (15), queda como sigue:

$$0 + qBL - vCBH = 0$$

$$C = qL/vH \quad (16)$$

Podemos observar que la concentración en la celda (zona de forrajeo y concentración de excretas en el establo), será mayor cuanto mayor longitud tenga en dirección del viento y menor sea la altura de la dispersión de los gases. Por otro lado, como hacemos nuestro análisis en la dirección del viento, la concentración no depende del ancho de la celda.

3.17. Cálculo de las concentraciones de CH₄ y CO₂ en el establo

En el establo, la evacuación de excretas se hace a los 30 ó 45 días, dependiendo de la necesidad y/o disponibilidad del comprador de estiércol. Nos interesa conocer la máxima concentración de gases en el establo y como observamos en las **tablas 26 y 27** del capítulo IV, el valor de las masas sigue creciendo hasta el día 45, por tanto, calcularemos las concentraciones en ese día.

Para el CH₄:

$$Q_{CH_4/45} = Masa_{CH_4/45} = 85.0715 \text{ g/día (tomado de tabla 26)}$$

Para el CO₂:

$$Q_{CO_2/45} = Masa_{CO_2/45} = 152.3269 \text{ g/día (tomado de tabla 27)}$$

En la tabla 28 del capítulo IV, presentamos los valores de las concentraciones para la celda de análisis tomada en el establo, utilizando los valores anteriores de las masas.

Para tener las unidades correctas, como hemos calculado ya, en los cuadros de generación de gases tenemos los valores de Q , debemos dividirlo entre la base de la celda de generación y además convertir las unidades de días a segundos, para tener la concentración C en unidades de g/m^3 .

$$q = \frac{Q}{BL}$$

Reemplazando en la ecuación (g), la concentración quedaría como sigue:

$$C = \frac{Q}{vHB} = \frac{Q\left(\frac{g}{\text{día}}\right)}{v\left(\frac{m}{s}\right)H(m)B(m)(24 \times 3600 \frac{s}{\text{día}})} = \frac{Q}{vHB(86400)} \frac{g}{m^3} \quad (17)$$

Donde $v = 2.2$ es la velocidad del viento en m/s

Q : masa de gas emitida en (g/día)

$H = 4m$ (altura de la celda)

$B = 12m$ (ancho de la celda)

Reemplazando los valores de Q en la ecuación (17) obtenemos los valores de la concentración, C en el establo para el día 45. Ver **tabla 28** del capítulo IV.

3.18. Cálculo de la concentración en partes por millón

Para el CH₄:

Concentración día 45 en ppm.

$$C_{CH_4/45} = \frac{9.3241 \times 10^{-6} g}{m^3} = \frac{9.3241 \times 10^0 g}{10^6 m^3}$$

Calculamos el volumen que ocupa la masa de esta concentración

$$PV = nRT$$

$$n = \frac{9.3241 \times 10^0 g}{16.04 g/mol} = 0.581303 mol$$

$$\frac{1.01325 \times 10^5 N}{m^2} \cdot V = 0.581303 mol \times \left(8.314472 \frac{J}{Kmol}\right) \times 298K$$

$$V = 0.0142147 m^3$$

Luego

$$C_{CH_4/45} = \frac{0.0142147 m^3}{10^6 m^3} = 0.0142147 ppm$$

Para el CO₂:

Concentración día 45 en ppm.

$$C_{CO_2/45} = \frac{1.66955 \times 10^{-5} g}{m^3} = \frac{1.66955 \times 10^1 g}{10^6 m^3}$$

Calculamos el volumen que ocupa la masa de esta concentración

$$PV = nRT$$

$$n = \frac{1.66955 \times 10^1 g}{44.01 g/mol} = 0.37936 mol$$

$$\frac{1.01325 \times 10^5 N}{m^2} \cdot V = 0.37936 mol \times \left(8.314472 \frac{J}{Kmol} \right) \times 298K$$

$$V = 0.009277 m^3$$

Luego

$$C_{CO_2/45} = \frac{0.009277 m^3}{10^6 m^3} = \mathbf{0.009277 ppm}$$

En la práctica, los gases que componen el biogás generado por las excretas se comportan en forma independiente en la atmósfera, cada uno con sus propias características y sus concentraciones dependen del tipo de comportamiento e interacción con el medio de difusión. La difusión para cada tipo de gas es diferente, pues no se puede tratar a varios gases como uno solo.

En la **tabla 29** del capítulo IV, aparecen los valores calculados para las concentraciones en el establo en ppm, en el día 45.

3.19. Modelo de dispersión Gaussiano (método 2)

Ahora a manera de comprobación usaremos el modelo Gaussiano, adaptando las condiciones propias de nuestra investigación, eliminando los factores de acuerdo al caso analizado y considerando siempre que la máxima concentración la tendremos en la dirección del viento.

En nuestro caso, el modelo bidimensional está representado en la figura siguiente:

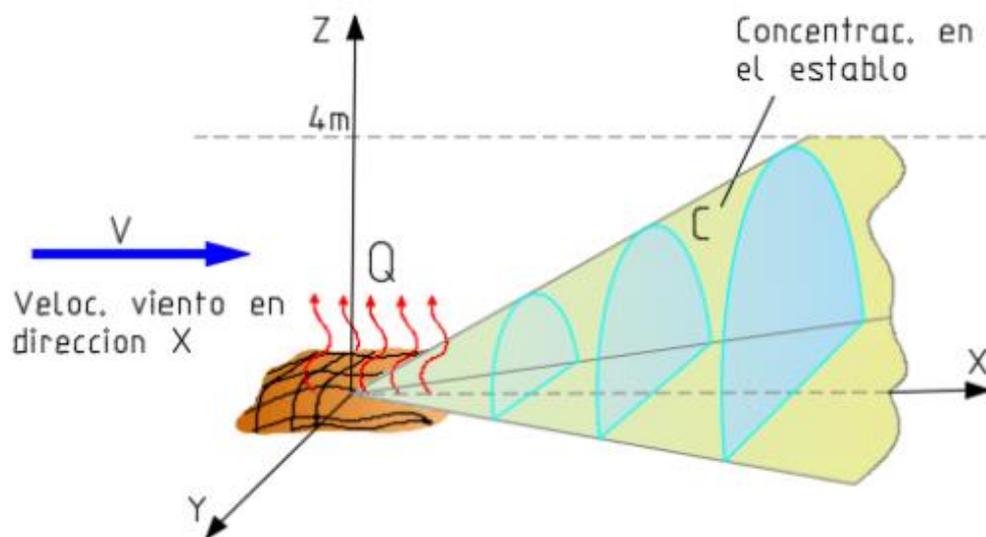


Figura 13. Modelo gauseano para el establo.

Para desarrollar este modelo, nos basamos en la formulación matemática Gaussiana, considerando que:

- No existe la altura efectiva de una chimenea ($h_{ef} = 0$), puesto que las emanaciones del biogás brotan de las excretas a nivel del suelo.
- La velocidad del viento \mathbf{u} se considera constante en la dirección de X y despreciable en la dirección Y y Z , por tanto, el desplazamiento de masa se da en la dirección del viento con cierta elevación (4m) en los límites del establo y con desviación despreciable en Y .
- La fuente generadora se ubica en el origen de coordenadas.

La fórmula gaussiana cuando los gases salen a la altura de una chimenea, es la siguiente:

$$C = \frac{Q}{2\pi v \sigma_y \sigma_z} \exp\left[-\frac{y^2}{2\sigma_y^2} - \frac{(z - h_{ef})^2}{2\sigma_z^2}\right]$$

En nuestro caso $h_{ef} = 0$, luego la ecuación quedaría como sigue:

$$C = \frac{Q}{2\pi v \sigma_y \sigma_z} \exp\left[-\frac{y^2}{2\sigma_y^2} - \frac{z^2}{2\sigma_z^2}\right] \quad (18)$$

Donde:

C : Concentración del contaminante en $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Q : Emisión de gas en $\mu\text{g}/\text{s}$

z : Distancia en el eje Z en m

y : Distancia en el eje Y en m

σ_y, σ_z : Desviaciones normales en Y y Z respectivamente, en m

v : Velocidad del viento en el establo (2.2 m/s)

Para calcular las desviaciones normales de la concentración de los gases usamos la fórmula propuesta por McMullen en 1975, la cual tiene la forma siguiente:

$$\sigma = \exp[I + J(\ln x) + K(\ln x)^2] \quad (19)$$

Donde:

σ : Desviación normal de la concentración del gas, horizontal σ_y o vertical σ_z .

$\ln x$: Logaritmo natural de la distancia en X expresada en km.

I, J, K : Constantes empíricas para la condición de estabilidad correspondiente a cada valor de σ .

Tabla 16. Valores de I, J, K para σ_y en función de la distancia a nivel de piso y condición de estabilidad.

Condición de estabilidad	I	J	K
A	5.357	0.8828	- 0.0076
B	5.058	0.9024	- 0.0096
C	4.651	0.9181	- 0.0076
D	4.230	0.9222	- 0.0087
E	3.992	0.9222	- 0.0064
F	3.553	0.9181	- 0.0070

Fuente: R.W. McMullen J.Air Pollu. Control Assoc. 25, No. 10 (1975): 1057

Tabla 17. Valores de I, J, K para σ_z en función de la distancia a nivel de piso y condición de estabilidad.

Condición de estabilidad	I	J	K
A	6.035	2.1097	0.2770
B	4.694	1.0629	0.0136
C	4.110	0.9201	- 0.0020
D	3.414	0.7370	- 0.0316
E	3.057	0.6794	- 0.0450
F	2.621	0.6564	- 0.0540

Fuente: R.W. McMullen J.Air Pollu. Control Assoc. 25, No. 10 (1975): 1057

Para las condiciones de estabilidad, mostramos la tabla empírica de Pasquill-Gifford, que es la más utilizada para clasificar la atmósfera según la velocidad del viento y la radiación solar. La clasificación usa un código de letras:

A: Es la más inestable

B: Es moderadamente inestable

C: Es ligeramente inestable

D: Clase neutral

E: Es ligeramente estable

F: Es la más estable

Tabla 18. Condiciones meteorológicas que definen las clases de estabilidad de Pasquill.

Veloc. Viento (m/s)	Día, radiación solar			Noche	
	Fuerte	Moderada	Débil	Nubes > 1/2	Nubes < 3/8
<2	A	A-B	B	F	F
2-3	A-B	B	C	E	F
3-5	B	B-C	D	D	E
5-6	C	C-D	D	D	D
>6	C	D	D	D	D

En nuestro análisis vamos a calcular la concentración C para las siguientes condiciones:

- $X = 10\text{m}$ y 20m
- $Y = 0\text{m}$ y 5m (para ambos valores de X , en la dirección del viento)
- $Z = 0\text{m}$ (a nivel del suelo, para cada valor de X respectivamente)
- Día: radiación solar moderada ($v_y < 2 \rightarrow$ *estabilidad A para σ_y* , $v_z < 2 \rightarrow$ *estabilidad B para σ_z*)

Nuestro análisis lo hacemos para las condiciones de día. Estas condiciones nos ubican siempre dentro de la celda analizada, para el caso de la celda estacionaria. Nos ubicamos en el plano XZ y en la dirección del viento, porque es allí donde se dan las máximas concentraciones.

De acuerdo a las consideraciones hechas y utilizando la ecuación (j) de McMullen y las tablas **16.** y **17.**, calculamos σ_y y σ_z , resultados que están calculados en las siguientes líneas y tabulados en las **tablas 30 y 31** del capítulo IV.

Cálculo de σ_y para $X=10\text{m}$

$$\begin{aligned}\sigma_y &= \exp [5.357 + 0.8828(\ln 0.01) - 0.0076(\ln 0.01)^2] \\ &= \exp(1.13037806) = 3.09682706\end{aligned}$$

Cálculo de σ_y para $X=20\text{m}$

$$\sigma_y = \exp [5.357 + 0.8828(\ln 0.02) - 0.0076(\ln 0.02)^2]$$

$$= \exp(1.78715627) = 5.97244427$$

Cálculo de σ_z para X=10m

$$\sigma_z = \exp [4.694 + 1.0629(\ln 0.01) + 0.0136(\ln 0.01)^2]$$

$$= \exp(-0.48925865) = 0.61308073$$

Cálculo de σ_z para X=20m en el día

$$\sigma_z = \exp [4.694 + 1.0629(\ln 0.02) + 0.0136(\ln 0.02)^2]$$

$$= \exp(0.32777738) = 1.38787997$$

Mostramos las constantes y resultados en las **tablas 30 y 31**, del capítulo IV.

3.20. Cálculo de la concentración C

Como asumimos anteriormente, nos interesa la concentración de los contaminantes en la dirección del viento X. Como hemos detectado por el método de la celda estacionaria fija, los valores de las concentraciones son realmente pequeñas, nos interesa conocer sus valores máximos y esto ocurre a nivel del suelo. Asumiremos 2 casos particulares del modelo Gausseano en 2D:

A) Concentración a nivel del suelo, porque es allí donde se encuentra las personas encargadas del establo: Z=0m, Y=5m. La ecuación (20) toma la forma:

$$C = \frac{Q}{\pi v \sigma_y \sigma_z} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{y^2}{\sigma_y^2} \right) \right] \quad (20)$$

B) Concentración a nivel del suelo y en el eje del viento, por ser el eje donde se acumula la mayor concentración: Z=0 y Y=0. La ecuación (k) toma la forma:

$$C = \frac{Q}{\pi v \sigma_y \sigma_z} e^0 \quad (21)$$

Los valores hallados con la relación (20) y (21) lo mostramos en las **tablas 32 y 33** del capítulo IV, respectivamente para los valores de las emisiones de CH₄ y CO₂, que para el día 45 son:

$$Q_{CH_4/45} = 85.0715 \frac{g}{día} = 984.6240 \frac{\mu g}{s}$$

$$Q_{CO2/45} = 152.3269 \frac{g}{día} = 1763.0430 \frac{\mu g}{s}$$

Cálculo de las concentraciones en ppm

Las concentraciones halladas y agrupadas en los dos cuadros anteriores, lo expresamos en ppm, para el día 45.

A. Para: Z=0m y Y=5m (valores de la tabla 32)

$$C_{CH4/x=10} = \frac{20.3801 \mu g}{m^3} = \frac{20.3801 g}{10^6 m^3}$$

Calculamos el volumen que ocupa la masa de la concentración.

$$PV = \eta RT$$

$$\eta = \frac{20.3801 g}{16.04 \frac{g}{mol}} = 1.27058 mol$$

$$\frac{1.01325 \times 10^5 N}{m^2} \cdot V = 1.27058 mol \times \left(8.314472 \frac{J}{K \cdot mol} \right) \times 298 K$$

$$V = 0.03107 m^3$$

Luego:

$$C_{CH4/x=10} = \frac{0.03107 m^3}{10^6 m^3} = \mathbf{0.03107 ppm}$$

$$C_{CH4/x=20} = \frac{12.10605 \mu g}{m^3} = \frac{12.10605 g}{10^6 m^3}$$

Calculamos el volumen que ocupa la masa de la concentración.

$$PV = \eta RT$$

$$\eta = \frac{12.10605 g}{16.04 \frac{g}{mol}} = 0.754741 mol$$

$$\frac{1.01325 \times 10^5 N}{m^2} \cdot V = 0.754741 mol \times \left(8.314472 \frac{J}{K \cdot mol} \right) \times 298 K$$

$$V = 0.018456 \text{ m}^3$$

Luego:

$$C_{CH_4/x=20} = \frac{0.018456 \text{ m}^3}{10^6 \text{ m}^3} = \mathbf{0.018456 \text{ ppm}}$$

$$C_{CO_2/x=10} = \frac{36.4921 \text{ ug}}{\text{m}^3} = \frac{36.4921 \text{ g}}{10^6 \text{ m}^3}$$

Calculamos el volumen que ocupa la masa de la concentración.

$$PV = \eta RT$$

$$\eta = \frac{36.4921 \text{ g}}{44.01 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 0.829177 \text{ mol}$$

$$\frac{1.01325 \times 10^5 \text{ N}}{\text{m}^2} \cdot V = 0.829177 \text{ mol} \times \left(8.314472 \frac{\text{J}}{\text{K} \cdot \text{mol}} \right) \times 298 \text{ K}$$

$$V = 0.020276 \text{ m}^3$$

Luego:

$$C_{CO_2/x=10} = \frac{0.020276 \text{ m}^3}{10^6 \text{ m}^3} = \mathbf{0.020276 \text{ ppm}}$$

$$C_{CO_2/x=20} = \frac{21.6767 \text{ ug}}{\text{m}^3} = \frac{21.6767 \text{ g}}{10^6 \text{ m}^3}$$

Calculamos el volumen que ocupa la masa de la concentración.

$$PV = \eta RT$$

$$\eta = \frac{21.6767 \text{ g}}{44.01 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 0.49254 \text{ mol}$$

$$\frac{1.01325 \times 10^5 \text{ N}}{\text{m}^2} \cdot V = 0.49254 \text{ mol} \times \left(8.314472 \frac{\text{J}}{\text{K} \cdot \text{mol}} \right) \times 298 \text{ K}$$

$$V = 0.012044 \text{ m}^3$$

Luego:

$$C_{CO_2/x=20} = \frac{0.012044 \text{ m}^3}{10^6 \text{ m}^3} = \mathbf{0.012044 \text{ ppm}}$$

B. Para: Z=0m y Y=0m (valores de la tabla 33)

$$C_{CH_4/x=10} = \frac{75.0349 \text{ ug}}{\text{m}^3} = \frac{75.0349 \text{ g}}{10^6 \text{ m}^3}$$

Calculamos el volumen que ocupa la masa de la concentración.

$$PV = \eta RT$$

$$\eta = \frac{75.0349 \text{ g}}{16.04 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 4.677986 \text{ mol}$$

$$\frac{1.01325 \times 10^5 \text{ N}}{\text{m}^2} \cdot V = 4.677986 \text{ mol} \times \left(8.314472 \frac{\text{J}}{\text{K} \cdot \text{mol}} \right) \times 298 \text{ K}$$

$$V = 0.114391 \text{ m}^3$$

Luego:

$$C_{CH_4/x=10} = \frac{0.114391 \text{ m}^3}{10^6 \text{ m}^3} = \mathbf{0.114391 \text{ ppm}}$$

$$C_{CH_4/x=20} = \frac{17.18675 \text{ ug}}{\text{m}^3} = \frac{17.18675 \text{ g}}{10^6 \text{ m}^3}$$

Calculamos el volumen que ocupa la masa de la concentración.

$$PV = \eta RT$$

$$\eta = \frac{17.18675 \text{ g}}{16.04 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 1.071493 \text{ mol}$$

$$\frac{1.01325 \times 10^5 \text{ N}}{\text{m}^2} \cdot V = 1.071493 \text{ mol} \times \left(8.314472 \frac{\text{J}}{\text{K} \cdot \text{mol}} \right) \times 298 \text{ K}$$

$$V = 0.026201 \text{ m}^3$$

Luego:

$$C_{CH_4/x=20} = \frac{0.026201 \text{ m}^3}{10^6 \text{ m}^3} = \mathbf{0.026201 \text{ ppm}}$$

$$C_{CO_2/x=10} = \frac{134.3556 \text{ ug}}{\text{m}^3} = \frac{134.3556 \text{ g}}{10^6 \text{ m}^3}$$

Calculamos el volumen que ocupa la masa de la concentración.

$$PV = \eta RT$$

$$\eta = \frac{134.3556 \text{ g}}{44.01 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 3.052843 \text{ mol}$$

$$\frac{1.01325 \times 10^5 \text{ N}}{\text{m}^2} \cdot V = 3.052843 \text{ mol} \times \left(8.314472 \frac{\text{J}}{\text{K} \cdot \text{mol}} \right) \times 298 \text{ K}$$

$$V = 0.074652 \text{ m}^3$$

Luego:

$$C_{CO_2/x=10} = \frac{0.074652 \text{ m}^3}{10^6 \text{ m}^3} = \mathbf{0.074652 \text{ ppm}}$$

$$C_{CO_2/x=20} = \frac{30.7742 \text{ ug}}{\text{m}^3} = \frac{30.7742 \text{ g}}{10^6 \text{ m}^3}$$

Calculamos el volumen que ocupa la masa de la concentración.

$$PV = \eta RT$$

$$\eta = \frac{30.7742 \text{ g}}{44.01 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 0.699255 \text{ mol}$$

$$\frac{1.01325 \times 10^5 \text{ N}}{\text{m}^2} \cdot V = 0.699255 \text{ mol} \times \left(8.314472 \frac{\text{J}}{\text{K} \cdot \text{mol}} \right) \times 298 \text{ K}$$

$$V = 0.017099 \text{ m}^3$$

Luego:

$$C_{CO_2/x=20} = \frac{0.017099 \text{ m}^3}{10^6 \text{ m}^3} = \mathbf{0.017099 \text{ ppm}}$$

Los valores hallados están tabulados en la **tabla 34** del capítulo IV.

3.21. Método alternativo para cálculo de parámetros de dispersión de fuentes

Puntuales (método 3)

Existen diferentes alternativas para el cálculo empírico de los parámetros de dispersión σ_y y σ_z como desviaciones de tipo lateral y vertical respecto a la dirección del viento. Sabemos también que estos parámetros dependen de la distancia respecto a la fuente emisora viento abajo y de la Categoría de Estabilidad Atmosférica (CEA). Estos parámetros serán confiables si se toman acertadamente y generalmente se estiman por encima de los 100m y en nuestro estudio estamos abocado a un caso local pequeño, debido a que las emisiones encontradas son estrictamente pequeñas y que a mayores distancias pierden el sentido para hallar concentraciones, por lo menos apreciables.

A continuación, vamos a utilizar ecuaciones usadas para el modo rural, que se aproximan a las curvas de Pasquill-Gifford (Turner, 1970). Aquí tenemos las posibilidades de escoger distancias menores para las CEA tipo A, D, F. Estas ecuaciones son de la forma:

$$\sigma_y = 465.11628(x)[tg(TH)] \quad (22)$$

Donde:

$$TH = 0.017453293[c - d.lnx] \quad (23)$$

Tabla 19. Coeficientes c y d para medio rural para σ_y

CEA	c	d
A	24.167	2.5354
B	18.333	1.8096
C	12.500	1.0857
D	8.333	0.72382
E	6.250	0.54287
F	4.1667	0.36191

Fuente: Turner, 1970

$$\sigma_z = ax^b \quad (24)$$

X : distancia en dirección del viento en Km.

σ_y, σ_z : en m

Tabla 20. Coeficientes a y b para σ_z

CEA	X (Km)	a	b	CEA		a	b
A	<0.1	122.8	0.9447	F	<0.2	15.209	0.81558
	0.1-0.15	158.08	1.0542		0.21-0.7	14.457	0.78407
	0.16-0.2	170.22	1.0932		0.71-1	13.953	0.68465
	0.21-0.25	179.52	1.1262		1.01-2	13.953	0.63227
	0.26-0.30	217.41	1.2644		2.01-3	14.823	0.54503
	0.31-0.4	258.89	1.4094		X (Km)	16.187	0.4649
	0.41-05	346.75	1.7283		7.01-15	17.836	0.41507
	0.51-3.11	453.85	2.1166		15.01-30	22.651	0.32681
D	<0.3	34.459	0.86974	30.01-60	27.074	0.27436	
	0.31-1	32.093	0.81066	>60	34.219	0.21716	
	1.01-3	32.093	0.64403				
	3.01-10	33.504	0.60486				
	10.01-30	36.35	0.56589				
	>30	44.053	0.51179				

Calculamos las desviaciones σ_y y σ_z utilizando las ecuaciones (22), (23), (24), y los valores tomados de las tablas 19 y 20, para las distancias $X=10m$ y $20m$.

Cálculo σ_y

Para $X=0.01$ km CEA: A

$$TH = 0.017453293[24.167 - 2.5334 \ln(0.01)] = 0.62541673$$

$$\sigma_y = 465.11628(0.01) \tan(0.62541673) = \mathbf{3.358689718}$$

Para X=0.02 km CEA: A

$$TH = 0.017453293[24.167 - 2.5334 \ln(0.02)] = 0.594768$$

$$\sigma_y = 465.11628(0.02) \tan(0.594768) = \mathbf{6.292873852}$$

Cálculo σ_z

Para X=0.01 km día CEA: A

$$\sigma_z = 122.8(0.01)^{0.9447} = \mathbf{1.5841575}$$

Para X=0.02 km día CEA: A

$$\sigma_z = 122.8(0.02)^{0.9447} = \mathbf{3.049168}$$

Los datos calculados se reúnen en la tabla 35 del capítulo IV.

Cálculo de las concentraciones en ppm

Para Z=0m, Y=5m (valores de la tabla 36)

Para el día 45

$$C_{CH_4/x=10} = \frac{8.840922 \text{ ug}}{m^3} = \frac{8.840922 \text{ g}}{10^6 m^3}$$

$$PV = nRT$$

$$n = \frac{8.840922 \text{ g}}{16.04 \text{ g/mol}} = 0.551180 \text{ mol}$$

$$\frac{1.01325 \times 10^5 \text{ N}}{m^2} \cdot V = 0.551180 \text{ mol} \times \left(8.314472 \frac{\text{J}}{\text{Kmol}} \right) \times 298 \text{ K}$$

$$V = 0.013478 \text{ m}^3$$

Luego

$$C_{CH_4/x=10} = \frac{0.013478 \text{ m}^3}{10^6 m^3} = \mathbf{0.013478 \text{ ppm}}$$

$$C_{CH_4/x=20} = \frac{5.414776 \text{ ug}}{m^3} = \frac{5.414776 \text{ g}}{10^6 m^3}$$

$$PV = nRT$$

$$n = \frac{5.414776 \text{ g}}{16.04 \text{ g/mol}} = 0.337580 \text{ mol}$$

$$\frac{1.01325 \times 10^5 \text{ N}}{m^2} \cdot V = 0.337580 \text{ mol} \times \left(8.314472 \frac{\text{J}}{\text{Kmol}} \right) \times 298 \text{ K}$$

$$V = 0.008255 \text{ m}^3$$

Luego

$$C_{CH_4/x=20} = \frac{0.008255 \text{ m}^3}{10^6 m^3} = \mathbf{0.008255 \text{ ppm}}$$

$$C_{CO_2/x=10} = \frac{15.830333 \text{ ug}}{m^3} = \frac{15.830333 \text{ g}}{10^6 m^3}$$

$$PV = nRT$$

$$n = \frac{15.830333 \text{ g}}{44.01 \text{ g/mol}} = 0.35970 \text{ mol}$$

$$\frac{1.01325 \times 10^5 \text{ N}}{m^2} \cdot V = 0.35970 \text{ mol} \times \left(8.314472 \frac{\text{J}}{\text{Kmol}} \right) \times 298 \text{ K}$$

$$V = 0.008796 \text{ m}^3$$

Luego

$$C_{CO_2/x=10} = \frac{0.008796 \text{ m}^3}{10^6 m^3} = \mathbf{0.008796 \text{ ppm}}$$

$$C_{CO_2/x=20} = \frac{9.695562 \text{ ug}}{m^3} = \frac{9.695562 \text{ g}}{10^6 m^3}$$

$$PV = nRT$$

$$n = \frac{9.695562 \text{ g}}{44.01 \text{ g/mol}} = 0.220304 \text{ mol}$$

$$\frac{1.01325 \times 10^5 N}{m^2} \cdot V = 0.220304 \text{ mol} \times \left(8.314472 \frac{J}{K \text{ mol}} \right) \times 298 K$$

$$V = 0.005387 \text{ m}^3$$

Luego

$$C_{CO_2/x=20} = \frac{0.005387 \text{ m}^3}{10^6 \text{ m}^3} = \mathbf{0.005387 \text{ ppm}}$$

Para Z=0m, Y=0m (valores de la tabla 36)

Para el día 45

$$C_{CH_4/x=10} = \frac{26.775009 \text{ ug}}{m^3} = \frac{26.775009 \text{ g}}{10^6 m^3}$$

$$PV = nRT$$

$$n = \frac{26.775009 \text{ g}}{16.04 \text{ g/mol}} = 1.669265 \text{ mol}$$

$$\frac{1.01325 \times 10^5 N}{m^2} \cdot V = 1.669265 \text{ mol} \times \left(8.314472 \frac{J}{K \text{ mol}} \right) \times 298 K$$

$$V = 0.048819 \text{ m}^3$$

Luego

$$C_{CH_4/x=10} = \frac{0.048819 \text{ m}^3}{10^6 \text{ m}^3} = \mathbf{0.048819 \text{ ppm}}$$

$$C_{CH_4/x=20} = \frac{7.424505 \text{ ug}}{m^3} = \frac{7.424505 \text{ g}}{10^6 m^3}$$

$$PV = nRT$$

$$n = \frac{7.424505 \text{ g}}{16.04 \text{ g/mol}} = 0.462874 \text{ mol}$$

$$\frac{1.01325 \times 10^5 \text{ N}}{\text{m}^2} \cdot V = 0.462874 \text{ mol} \times \left(8.314472 \frac{\text{J}}{\text{Kmol}} \right) \times 298 \text{ K}$$

$$V = 0.011319 \text{ m}^3$$

Luego

$$C_{\text{CH}_4/x=20} = \frac{0.011319 \text{ m}^3}{10^6 \text{ m}^3} = \mathbf{0.011319 \text{ ppm}}$$

$$C_{\text{CO}_2/x=10} = \frac{47.942660 \text{ ug}}{\text{m}^3} = \frac{47.942660 \text{ g}}{10^6 \text{ m}^3}$$

$$PV = nRT$$

$$n = \frac{47.942660 \text{ g}}{44.01 \text{ g/mol}} = 1.089358 \text{ mol}$$

$$\frac{1.01325 \times 10^5 \text{ N}}{\text{m}^2} \cdot V = 1.089358 \text{ mol} \times \left(8.314472 \frac{\text{J}}{\text{Kmol}} \right) \times 298 \text{ K}$$

$$V = 0.026638 \text{ m}^3$$

Luego

$$C_{\text{CO}_2/x=10} = \frac{0.026638 \text{ m}^3}{10^6 \text{ m}^3} = \mathbf{0.026638 \text{ ppm}}$$

$$C_{\text{CO}_2/x=20} = \frac{13.294132 \text{ ug}}{\text{m}^3} = \frac{13.294132 \text{ g}}{10^6 \text{ m}^3}$$

$$PV = nRT$$

$$n = \frac{13.294132 \text{ g}}{44.01 \text{ g/mol}} = 0.302071 \text{ mol}$$

$$\frac{1.01325 \times 10^5 \text{ N}}{\text{m}^2} \cdot V = 0.302071 \text{ mol} \times \left(8.314472 \frac{\text{J}}{\text{Kmol}} \right) \times 298 \text{ K}$$

$$V = 0.007387 \text{ m}^3$$

Luego

$$C_{CO2/x=20} = \frac{0.007387 \text{ m}^3}{10^6 \text{ m}^3} = \mathbf{0.007387 \text{ ppm}}$$

Los valores calculados aparecen en la **tabla 37** del capítulo IV.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo hemos colocado las tablas y figuras correspondientes a las mediciones y resultados obtenidos con los cálculos realizados en el capítulo III. Para mayor comprensión y ubicación, en cada una de ellas hacemos referencia de donde vienen, indicando el numeral de procedencia. Así mismo en el numeral de procedencia mencionamos en que número de tabla están tabulados los resultados.

4.1. Resultados.

4.1.1. Tablas y figuras de la investigación.

La tabla 21 corresponde al numeral 3.6 que son las presiones tomadas cada dos días en el biodigestor y la figura 14 es la correspondiente a esta tabla.

Tabla 21. Presiones tomadas en el biodigestor casero tipo Batch.

Nº día	Fecha	P (in.H ₂ O)	P (N/m ²)	P (PSI)	T (°C)
0	13.10.2019	0	0	0	24
2	15.10.2019	0.15	37.3260	0.005414	24
4	17.10.2019	0.37	92.0708	0.013354	25
6	19.10.2019	0.71	176.6764	0.025625	26
8	21.10.2019	1.07	266.2588	0.038617	25
10	23.10.2019	1.49	370.7716	0.053776	23
12	25.10.2019	2.39	594.7276	0.086258	26
14	27.10.2019	3.40	846.0560	0.122710	24
16	29.10.2019	4.41	1097.384	0.159162	26
18	31.10.2019	5.43	1351.2010	0.195975	24
20	02.11.2019	6.54	1627.4140	0.236036	25
22	04.11.2019	7.65	1903.6260	0.276100	24
24	06.11.2019	8.76	2179.8380	0.316159	25
26	08.11.2019	9.86	2453.5620	0.355860	26
28	10.11.2019	10.98	2732.2632	0.396281	26
30	12.11.2019	12.10	3010.9640	0.436703	25
32	14.11.2019	13.25	3297.1300	0.478208	26
34	16.11.2019	14.10	3508.6440	0.508886	26
36	18.11.2019	14.86	3697.7624	0.536315	25
38	20.11.2019	15.48	3852.0432	0.558692	26

40	22.11.2019	15.99	3978.9516	0.577098	26
42	24.11.2019	16.41	4083.4644	0.592256	25
44	26.11.2019	16.70	4155.6280	0.602723	26
45	27.11.2019	16.79	4178.0236	0.605971	26

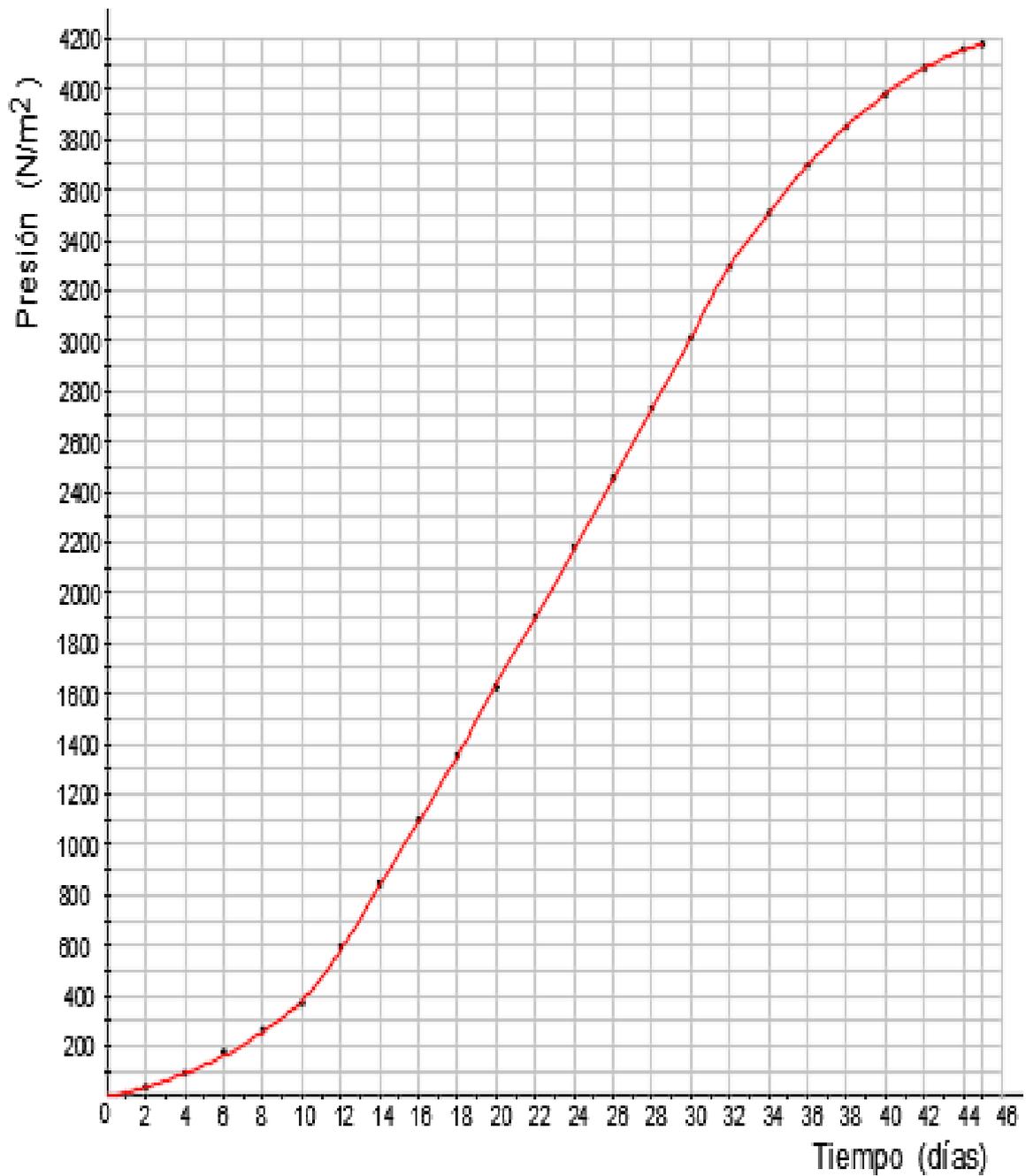


Figura 14. presiones tomadas en el biodigestor durante los 45 días.

La tabla 22 corresponde al numeral 3.11, que indican como fue creciendo la masa de gases dentro del biodigestor durante los 45 días

Tabla 22. Crecimiento de la masa de gases en el digestor Batch.

<i>Día</i>	P $\left(\frac{N}{m^2}\right)$	η_{CH_4} (mol)	$Masa_{CH_4}$ (g)	η_{CO_2} (mol)	$Masa_{CO_2}$ (g)
0	0	0	0	0	0
2	37.3260	0.00163781	0.026270	0.00106874	0.047035
4	92.0708	0.00403994	0.064801	0.00263622	0.116020
6	176.6764	0.00775233	0.124347	0.00505872	0.222634
8	266.2588	0.01168312	0.187397	0.00762375	0.335521
10	370.7716	0.01626905	0.260956	0.01061629	0.467223
12	594.7276	0.02609611	0.418582	0.01702897	0.749445
14	846.0560	0.0312435	0.595475	0.02422558	1.066168
16	1097.384	0.0481527	0.772369	0.03142233	1.382897
18	1351.2010	0.05929037	0.951018	0.0386905	1.702769
20	1627.4140	0.07141092	1.145431	0.04660015	2.050873
22	1903.6260	0.08353156	1.339846	0.0545100	2.398985
24	2179.8380	0.09565234	1.534264	0.06241998	2.747103
26	2453.5620	0.107664066	1.726932	0.0702589	3.092094
28	2732.2632	0.11989434	1.923105	0.07824058	3.443368
30	3010.9640	0.13212474	2.119281	0.08622242	3.794649
32	3297.1300	0.14468287	2.320713	0.09441825	4.155347
34	3508.6440	0.15396507	2.469600	0.10047617	4.421956
36	3697.7624	0.16226450	2.602723	0.10589275	4.660340
38	3852.0432	0.16903515	2.711324	0.11031160	4.854814
40	3978.9516	0.17460458	2.800657	0.1139465	5.014785
42	4083.4644	0.17919119	2.874227	0.11693999	5.1465529
44	4155.6280	0.18234299	2.925025	0.11900693	5.237495
45	4178.0236	0.183341	2.9408	0.1196484	5.265726

La tabla 23 corresponde al numeral 3.11 e indica como evoluciona la masa de gases generadas por las excretas acumuladas durante un día. Estos valores teóricamente son calculados como si toda esta masa estuviera acumulada dentro de un biodigestor durante los 45 días.

Tabla 23. Evolución diaria de masa de gases generada por las excretas acumuladas en un día en el establo.

Día	<i>Masa_{CH4/día} (g)</i>	<i>Masa_{CO2/día} (g)</i>
0	0.00000000	0.00000000
1	0.37996928	0.68031424
2	0.75993856	1.36062848
3	1.31725094	2.35842752
4	1.87456333	3.35622656
5	2.73583667	4.89829145
6	3.59711002	6.44035635
7	4.50906522	8.07315392
8	5.42102042	9.70595149
9	6.48497779	11.61088922
10	7.54893517	13.51582694
11	9.82883763	17.59788595
12	12.10874010	21.67994496
13	14.66732045	26.26102643
14	17.22590080	30.84210790
15	19.78449562	35.42327616
16	22.34309043	40.00444442
17	24.92706957	44.63107303
18	27.51104870	49.25770163
19	30.32303834	54.29267789
20	33.13502797	59.32765414
21	35.94704653	64.36274611
22	38.75906509	69.39783808
23	41.57112704	74.43301683
24	44.38318899	79.46819558
25	47.16993895	84.45814541
26	49.95668890	89.44809523
27	52.79413517	94.52892237
28	55.63158144	99.60974950
29	58.46907111	104.69067790

30	61.30656077	109.77160627
31	64.22007322	114.98874210
32	67.13358566	120.20587802
33	69.28708723	124.06211060
34	71.44058880	127.91834317
35	73.36607987	131.36632930
36	75.29157094	134.81431552
37	76.86237581	137.62718750
38	78.43318067	140.44005939
39	79.72529319	142.75387990
40	81.01740570	145.06770048
41	82.08152218	146.97359140
42	83.14563866	148.87948229
43	83.88038093	150.1948688
44	84.61512320	151.51025536
45	85.07146240	152.32692173

La tendencia gráfica de la generación de masas de CH₄ y CO₂ por los 578.56 kg de excretas acumuladas en un día, durante los 45 días de duración del análisis, lo podemos observar en la figura 15.

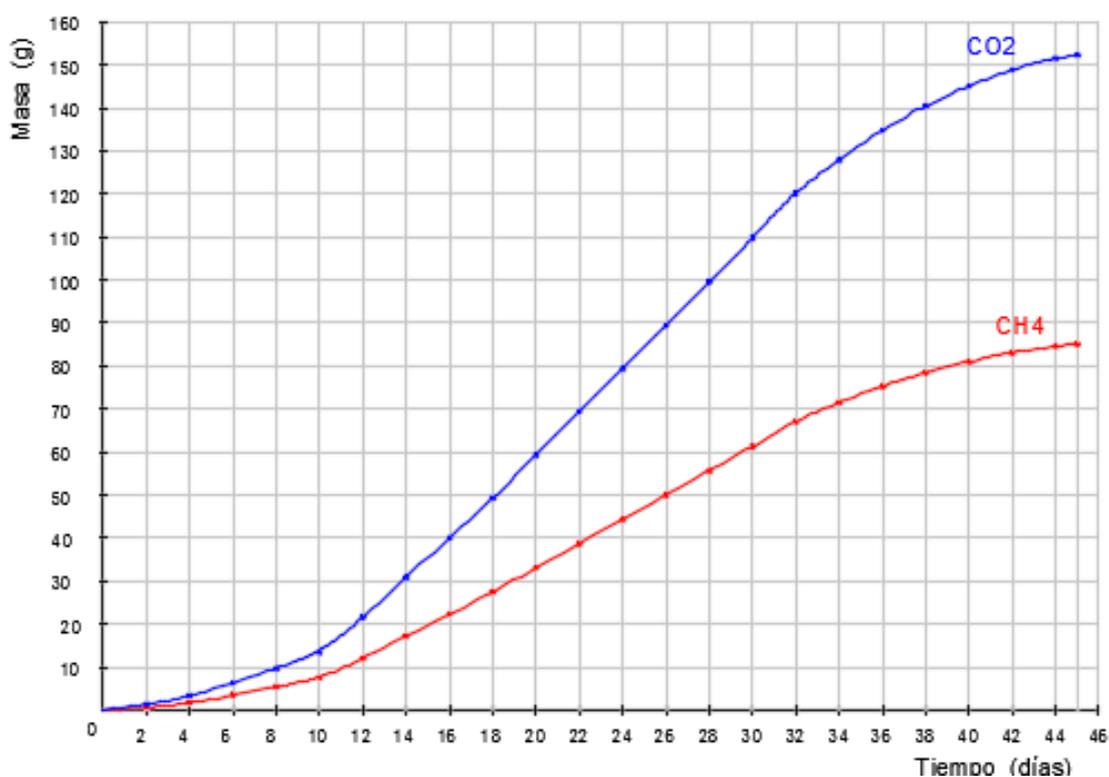


Figura 15. Evolución diaria de la generación de masa de CH₄ y CO₂ por las excretas acumuladas en un día.

La tabla 24 corresponde al numeral 3.12 que es la evolución del volumen de gases generados por las excretas de un día.

Cuadro 24. Evolución diaria del volumen de gases a c.n. por las excretas acumuladas en un día.

<i>Día</i>	$V_{CH_4/CN}$ (L)	$V_{CO_2/CN}$ (L)
0	0.00000000	0.00000000
2	1.15844293	0.68857717
4	2.85756605	1.69849522
6	5.48339941	3.25928965
8	8.26375063	4.91191877
10	11.50752312	6.83999339
12	18.45844527	10.97163206
14	26.25899512	15.60835420
16	34.05958907	20.24516418
18	41.93757424	24.92798666
20	50.51071337	30.02411647
22	59.08394068	35.12036340
24	67.65730029	40.21669817
26	76.15348917	45.26725467
28	84.80424000	50.40979226
30	93.45512312	55.55243232
32	102.33778302	60.83293422
34	108.90333659	64.73600363
36	114.77373620	68.22586818
38	119.56277541	71.07290455
40	123.50214283	73.41482818
42	126.74640039	75.34386756
44	128.98646829	76.67523045
45	129.68210732	77.08852314

La tabla 25 corresponde al numeral 3.13 e indica la cantidad de gases que generan las excretas solamente el día de referencia (no la acumulación). La cantidad de excretas de generación es la acumulada durante un día (578.56 kg).

Tabla 25. Diferenciales de masa generadas cada día por las excretas acumuladas en un día.

<i>Día (i)</i>	Δm_{CH_4} (g)	Δm_{CO_2} (g)
1	0.37996928	0.68031424
2	0.37996928	0.68031424
3	0.55731238	0.99779904
4	0.55731239	0.99779904
5	0.86127334	1.54206489
6	0.86127335	1.5420649
7	0.9119552	1.63279757
8	0.9119552	1.63279757
9	1.06395737	1.90493773
10	1.06395738	1.90493772
11	2.27990246	4.08205901
12	2.27990247	4.08205901
13	2.55858035	4.58108147
14	2.55858035	4.58108147
15	2.55859482	4.58116826
16	2.55859481	4.58116826
17	2.58397914	4.62662861
18	2.58397913	4.6266286
19	2.81198964	5.03497626
20	2.81198963	5.03497625
21	2.81201856	5.03509197
22	2.81201856	5.03509197
23	2.81206195	5.03517875
24	2.81206195	5.03517875
25	2.78674996	4.98994983
26	2.78674995	4.98994982
27	2.83744627	5.08082714
28	2.83744627	5.08082713

29	2.83748967	5.0809284
30	2.83748966	5.08092837
31	2.91351245	5.21713583
32	2.91351244	5.21713592
33	2.15350157	3.85623258
34	2.15350157	3.85623257
35	1.92549107	3.44798613
36	1.92549107	3.44798622
37	1.57080487	2.81287198
38	1.57080486	2.81287189
39	1.29211252	2.31382051
40	1.29211251	2.31382058
41	1.06411648	1.90589092
42	1.06411648	1.90589089
43	0.73474227	1.31538651
44	0.73474227	1.31538656
45	0.4563392	0.81666637

Las tablas 26 y 27 corresponde también al numeral 3.13 y viene a ser la superposición de la masa de metano y dióxido de carbono respectivamente, generado por las excretas que se va acumulando día tras día, durante los 45 días. La sumatoria vertical de estas masas corresponde solamente al día correspondiente. La figura 16 corresponde a esta tabla 26 y la figura 17 corresponde a la tabla 27.

Tabla 26. Masa real diaria de CH₄ generada en el establo, en gramos

Día	Desfase de generación diaria de masa metano: Δm_{iCH_4} (gramos)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	0.3800														
2		0.3800													
3			0.3800												
4				0.3800											
5					0.3800										
6						0.3800									
7							0.3800								
8								0.3800							
9									0.3800						
10										0.3800					
11											0.3800				
12												0.3800			
13													0.3800		
14														0.3800	
15															0.3800
16															
17															
18															
19															
20															
21															
22															
23															
24															
25															
26															
27															
28															
29															
30															
31															
32															
33															
34															
35															
36															
37															
38															
39															
40															
41															
42															
43															
44															
45															
$\Delta m_{iCH_4}^+$	0.3800	0.7599	1.3173	1.8746	2.7358	3.5971	4.5091	5.4210	6.4850	7.5489	9.8288	12.1087	14.6673	17.2259	19.7845

Tabla 26. (continuación)

Día	Desfase de generación diaria de masa metano: Δm_{iCH_4} (gramos)														
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	2.5586	2.5840	2.5840	2.8120	2.8120	2.8120	2.8120	2.8121	2.8121	2.7867	2.7867	2.8374	2.8374	2.8375	2.8375
2	2.5586	2.5586	2.5840	2.5840	2.8120	2.8120	2.8120	2.8121	2.8121	2.8121	2.7867	2.7867	2.8374	2.8374	2.8375
3	2.5586	2.5586	2.5586	2.5840	2.5840	2.8120	2.8120	2.8120	2.8120	2.8121	2.8121	2.7867	2.7867	2.8374	2.8374
4	2.5586	2.5586	2.5586	2.5586	2.5840	2.5840	2.8120	2.8120	2.8120	2.8120	2.8121	2.8121	2.7867	2.7867	2.8374
5	2.2799	2.5586	2.5586	2.5586	2.5586	2.5840	2.5840	2.8120	2.8120	2.8120	2.8120	2.8121	2.8121	2.7867	2.7867
6	2.2799	2.2799	2.5586	2.5586	2.5586	2.5586	2.5840	2.5840	2.8120	2.8120	2.8120	2.8120	2.8121	2.8121	2.7867
7	1.0640	2.2799	2.2799	2.5586	2.5586	2.5586	2.5586	2.5840	2.5840	2.8120	2.8120	2.8120	2.8120	2.8121	2.8121
8	1.0640	1.0640	2.2799	2.2799	2.5586	2.5586	2.5586	2.5586	2.5840	2.5840	2.8120	2.8120	2.8120	2.8120	2.8121
9	0.9120	1.0640	1.0640	2.2799	2.2799	2.5586	2.5586	2.5586	2.5586	2.5840	2.5840	2.8120	2.8120	2.8120	2.8120
10	0.9120	0.9120	1.0640	1.0640	2.2799	2.2799	2.5586	2.5586	2.5586	2.5586	2.5840	2.5840	2.8120	2.8120	2.8120
11	0.8613	0.9120	0.9120	1.0640	1.0640	2.2799	2.2799	2.5586	2.5586	2.5586	2.5586	2.5840	2.5840	2.8120	2.8120
12	0.8613	0.8613	0.9120	0.9120	1.0640	1.0640	2.2799	2.2799	2.5586	2.5586	2.5586	2.5586	2.5840	2.5840	2.8120
13	0.5573	0.8613	0.8613	0.9120	0.9120	1.0640	1.0640	2.2799	2.2799	2.5586	2.5586	2.5586	2.5586	2.5840	2.5840
14	0.5573	0.5573	0.8613	0.8613	0.9120	0.9120	1.0640	1.0640	2.2799	2.2799	2.5586	2.5586	2.5586	2.5586	2.5840
15	0.3800	0.5573	0.5573	0.8613	0.8613	0.9120	0.9120	1.0640	1.0640	2.2799	2.2799	2.5586	2.5586	2.5586	2.5586
16	0.3800	0.3800	0.5573	0.5573	0.8613	0.8613	0.9120	0.9120	1.0640	1.0640	2.2799	2.2799	2.5586	2.5586	2.5586
17		0.3800	0.3800	0.5573	0.5573	0.8613	0.8613	0.9120	0.9120	1.0640	1.0640	2.2799	2.2799	2.5586	2.5586
18			0.3800	0.3800	0.5573	0.5573	0.8613	0.8613	0.9120	0.9120	1.0640	1.0640	2.2799	2.2799	2.5586
19				0.3800	0.3800	0.5573	0.5573	0.8613	0.8613	0.9120	0.9120	1.0640	1.0640	2.2799	2.2799
20					0.3800	0.3800	0.5573	0.5573	0.8613	0.8613	0.9120	0.9120	1.0640	1.0640	2.2799
21						0.3800	0.3800	0.5573	0.5573	0.8613	0.8613	0.9120	0.9120	1.0640	1.0640
22							0.3800	0.3800	0.5573	0.5573	0.8613	0.8613	0.9120	0.9120	1.0640
23								0.3800	0.3800	0.5573	0.5573	0.8613	0.8613	0.9120	0.9120
24									0.3800	0.3800	0.5573	0.5573	0.8613	0.8613	0.9120
25										0.3800	0.3800	0.5573	0.5573	0.8613	0.8613
26											0.3800	0.3800	0.5573	0.5573	0.8613
27												0.3800	0.3800	0.5573	0.5573
28													0.3800	0.3800	0.5573
29														0.3800	0.3800
30															0.3800
31															
32															
33															
34															
35															
36															
37															
38															
39															
40															
41															
42															
43															
44															
45															
Δm_{iCH_4}	22.3431	24.9271	27.5110	30.3230	33.1350	35.9470	38.7591	41.5711	44.3832	47.1699	49.9567	52.7941	55.6316	58.4691	61.3066

Tabla 26. (continuación)

Día	Desfase de generación diaria de masa metano: Δm_{iCH_4} (gramos)														
	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
1	2.9135	2.9135	2.1535	2.1535	1.9255	1.9255	1.5708	1.5708	1.2921	1.2921	1.0641	1.0641	0.7347	0.7347	0.4563
2	2.8375	2.9135	2.9135	2.1535	2.1535	1.9255	1.9255	1.5708	1.5708	1.2921	1.2921	1.0641	1.0641	0.7347	0.7347
3	2.8375	2.8375	2.9135	2.9135	2.1535	2.1535	1.9255	1.9255	1.5708	1.5708	1.2921	1.2921	1.0641	1.0641	0.7347
4	2.8374	2.8375	2.8375	2.9135	2.9135	2.1535	2.1535	1.9255	1.9255	1.5708	1.5708	1.2921	1.2921	1.0641	1.0641
5	2.8374	2.8374	2.8375	2.8375	2.9135	2.9135	2.1535	2.1535	1.9255	1.9255	1.5708	1.5708	1.2921	1.2921	1.0641
6	2.7867	2.8374	2.8374	2.8375	2.8375	2.9135	2.9135	2.1535	2.1535	1.9255	1.9255	1.5708	1.5708	1.2921	1.2921
7	2.7867	2.7867	2.8374	2.8374	2.8375	2.8375	2.9135	2.9135	2.1535	2.1535	1.9255	1.9255	1.5708	1.5708	1.2921
8	2.8121	2.7867	2.7867	2.8374	2.8374	2.8375	2.8375	2.9135	2.9135	2.1535	2.1535	1.9255	1.9255	1.5708	1.5708
9	2.8121	2.8121	2.7867	2.7867	2.8374	2.8374	2.8375	2.8375	2.9135	2.9135	2.1535	2.1535	1.9255	1.9255	1.5708
10	2.8120	2.8121	2.8121	2.7867	2.7867	2.8374	2.8374	2.8375	2.8375	2.9135	2.9135	2.1535	2.1535	1.9255	1.9255
11	2.8120	2.8120	2.8121	2.8121	2.7867	2.7867	2.8374	2.8374	2.8375	2.8375	2.9135	2.9135	2.1535	2.1535	1.9255
12	2.8120	2.8120	2.8120	2.8121	2.8121	2.7867	2.7867	2.8374	2.8374	2.8375	2.8375	2.9135	2.9135	2.1535	2.1535
13	2.8120	2.8120	2.8120	2.8120	2.8121	2.8121	2.7867	2.7867	2.8374	2.8374	2.8375	2.8375	2.9135	2.9135	2.1535
14	2.5840	2.8120	2.8120	2.8120	2.8120	2.8121	2.8121	2.7867	2.7867	2.8374	2.8374	2.8375	2.8375	2.9135	2.9135
15	2.5840	2.5840	2.8120	2.8120	2.8120	2.8120	2.8121	2.8121	2.7867	2.7867	2.8374	2.8374	2.8375	2.8375	2.9135
16	2.5586	2.5840	2.5840	2.8120	2.8120	2.8120	2.8120	2.8121	2.8121	2.7867	2.7867	2.8374	2.8374	2.8375	2.8375
17	2.5586	2.5586	2.5840	2.5840	2.8120	2.8120	2.8120	2.8121	2.8121	2.7867	2.7867	2.8374	2.8374	2.8375	2.8375
18	2.5586	2.5586	2.5586	2.5840	2.5840	2.8120	2.8120	2.8120	2.8121	2.8121	2.7867	2.7867	2.8374	2.8374	2.8374
19	2.5586	2.5586	2.5586	2.5586	2.5840	2.5840	2.8120	2.8120	2.8120	2.8121	2.8121	2.7867	2.7867	2.8374	2.8374
20	2.2799	2.5586	2.5586	2.5586	2.5586	2.5840	2.5840	2.8120	2.8120	2.8120	2.8120	2.8121	2.8121	2.7867	2.7867
21	2.2799	2.2799	2.5586	2.5586	2.5586	2.5586	2.5840	2.5840	2.8120	2.8120	2.8120	2.8120	2.8121	2.8121	2.7867
22	1.0640	2.2799	2.2799	2.5586	2.5586	2.5586	2.5586	2.5840	2.5840	2.8120	2.8120	2.8120	2.8120	2.8121	2.8121
23	1.0640	1.0640	2.2799	2.2799	2.5586	2.5586	2.5586	2.5586	2.5840	2.5840	2.8120	2.8120	2.8120	2.8120	2.8121
24	0.9120	1.0640	1.0640	2.2799	2.2799	2.5586	2.5586	2.5586	2.5586	2.5840	2.5840	2.8120	2.8120	2.8120	2.8120
25	0.9120	0.9120	1.0640	1.0640	2.2799	2.2799	2.5586	2.5586	2.5586	2.5586	2.5840	2.5840	2.8120	2.8120	2.8120
26	0.8613	0.9120	0.9120	1.0640	1.0640	2.2799	2.2799	2.5586	2.5586	2.5586	2.5586	2.5840	2.5840	2.8120	2.8120
27	0.8613	0.8613	0.9120	0.9120	1.0640	1.0640	2.2799	2.2799	2.5586	2.5586	2.5586	2.5586	2.5840	2.5840	2.8120
28	0.5573	0.8613	0.8613	0.9120	0.9120	1.0640	1.0640	2.2799	2.2799	2.5586	2.5586	2.5586	2.5586	2.5840	2.5840
29	0.5573	0.5573	0.8613	0.8613	0.9120	0.9120	1.0640	1.0640	2.2799	2.2799	2.5586	2.5586	2.5586	2.5586	2.5840
30	0.3800	0.5573	0.5573	0.8613	0.8613	0.9120	0.9120	1.0640	1.0640	2.2799	2.2799	2.5586	2.5586	2.5586	2.5586
31	0.3800	0.3800	0.5573	0.5573	0.8613	0.8613	0.9120	0.9120	1.0640	1.0640	2.2799	2.2799	2.5586	2.5586	2.5586
32		0.3800	0.3800	0.5573	0.5573	0.8613	0.8613	0.9120	0.9120	1.0640	1.0640	2.2799	2.2799	2.5586	2.5586
33			0.3800	0.3800	0.5573	0.5573	0.8613	0.8613	0.9120	0.9120	1.0640	1.0640	2.2799	2.2799	2.5586
34				0.3800	0.3800	0.5573	0.5573	0.8613	0.8613	0.9120	0.9120	1.0640	1.0640	2.2799	2.2799
35					0.3800	0.3800	0.5573	0.5573	0.8613	0.8613	0.9120	0.9120	1.0640	1.0640	2.2799
36						0.3800	0.3800	0.5573	0.5573	0.8613	0.8613	0.9120	0.9120	1.0640	1.0640
37							0.3800	0.3800	0.5573	0.5573	0.8613	0.8613	0.9120	0.9120	1.0640
38								0.3800	0.3800	0.5573	0.5573	0.8613	0.8613	0.9120	0.9120
39									0.3800	0.3800	0.5573	0.5573	0.8613	0.8613	0.9120
40										0.3800	0.3800	0.5573	0.5573	0.8613	0.8613
41											0.3800	0.3800	0.5573	0.5573	0.8613
42												0.3800	0.3800	0.5573	0.5573
43													0.3800	0.3800	0.5573
44														0.3800	0.3800
45															0.3800
Δm_{iCH_4}	64.2201	67.1336	69.2871	71.4406	73.3661	75.2916	76.8624	78.4332	79.7253	81.0174	82.0815	83.1456	83.8804	84.6151	85.0715

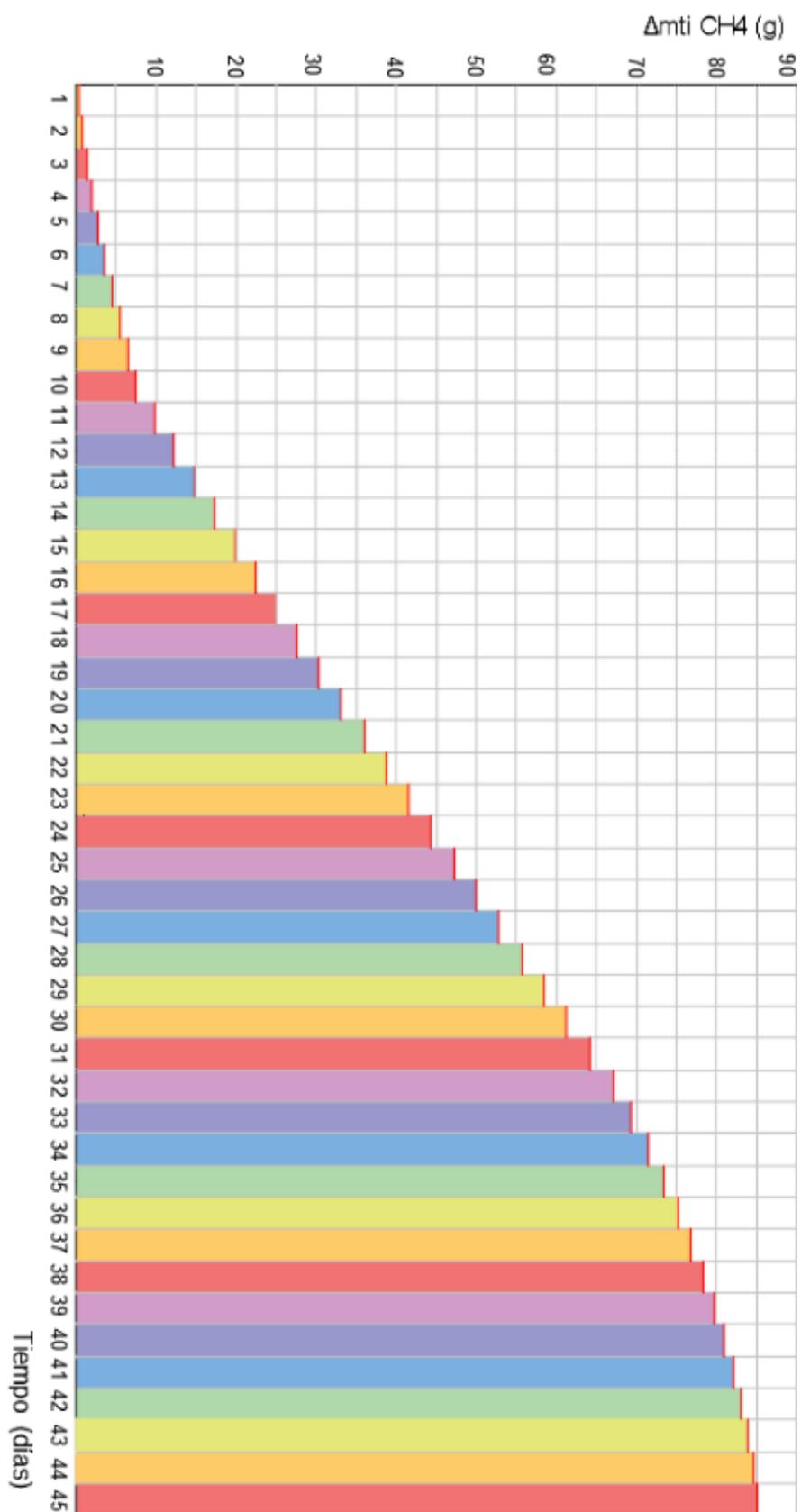


Figura 16. Valores reales de la masa de CH₄ generada diariamente en el establo.

Tabla 27. Masa real diaria de CO₂ generada en el establo, en gramos

Día	Desfase de generación diaria de masa de dióxido de carbono: Δm_{iCO_2} (gramos)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	0.6803	0.6803	0.9978	0.9978	1.5421	1.5421	1.6328	1.6328	1.9049	1.9049	4.0821	4.0821	4.5811	4.5811	4.5812
2		0.6803	0.6803	0.9978	0.9978	1.5421	1.5421	1.6328	1.6328	1.9049	1.9049	4.0821	4.0821	4.5811	4.5811
3			0.6803	0.6803	0.9978	0.9978	1.5421	1.5421	1.6328	1.6328	1.9049	1.9049	4.0821	4.0821	4.5811
4				0.6803	0.6803	0.9978	0.9978	1.5421	1.5421	1.6328	1.6328	1.9049	1.9049	4.0821	4.0821
5					0.6803	0.6803	0.9978	0.9978	1.5421	1.5421	1.6328	1.6328	1.9049	1.9049	4.0821
6						0.6803	0.6803	0.9978	0.9978	1.5421	1.5421	1.6328	1.6328	1.9049	1.9049
7							0.6803	0.6803	0.9978	0.9978	1.5421	1.5421	1.6328	1.6328	1.9049
8								0.6803	0.6803	0.9978	0.9978	1.5421	1.5421	1.6328	1.6328
9									0.6803	0.6803	0.9978	0.9978	1.5421	1.5421	1.6328
10										0.6803	0.6803	0.9978	0.9978	1.5421	1.5421
11											0.6803	0.6803	0.9978	0.9978	1.5421
12												0.6803	0.6803	0.9978	0.9978
13													0.6803	0.6803	0.9978
14														0.6803	0.6803
15															0.6803
16															
17															
18															
19															
20															
21															
22															
23															
24															
25															
26															
27															
28															
29															
30															
31															
32															
33															
34															
35															
36															
37															
38															
39															
40															
41															
42															
43															
44															
45															
Δm_{tiCO_2}	0.6803	1.3606	2.3584	3.3562	4.8983	6.4404	8.0732	9.7060	11.6109	13.5158	17.5979	21.6799	26.2610	30.8421	35.4233

Tabla 27. (continuación)

Día	Desfase de generación diaria de masa de dióxido de carbono: Δm_{CO_2} (gramos)														
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	4.5812	4.6266	4.6266	5.0350	5.0350	5.0351	5.0351	5.0352	5.0352	4.9899	4.9899	5.0808	5.0808	5.0809	5.0809
2	4.5812	4.5812	4.6266	4.6266	5.0350	5.0350	5.0351	5.0351	5.0352	5.0352	4.9899	4.9899	5.0808	5.0808	5.0809
3	4.5811	4.5812	4.5812	4.6266	4.6266	5.0350	5.0350	5.0351	5.0351	5.0352	5.0352	4.9899	4.9899	5.0808	5.0808
4	4.5811	4.5811	4.5812	4.5812	4.6266	4.6266	5.0350	5.0350	5.0351	5.0351	5.0352	5.0352	4.9899	4.9899	5.0808
5	4.0821	4.5811	4.5811	4.5812	4.5812	4.6266	4.6266	5.0350	5.0350	5.0351	5.0351	5.0352	5.0352	4.9899	4.9899
6	4.0821	4.0821	4.5811	4.5811	4.5812	4.5812	4.6266	4.6266	5.0350	5.0350	5.0351	5.0351	5.0352	5.0352	4.9899
7	1.9049	4.0821	4.0821	4.5811	4.5811	4.5812	4.5812	4.6266	4.6266	5.0350	5.0350	5.0351	5.0351	5.0352	5.0352
8	1.9049	1.9049	4.0821	4.0821	4.5811	4.5811	4.5812	4.5812	4.6266	4.6266	5.0350	5.0350	5.0351	5.0351	5.0352
9	1.6328	1.9049	1.9049	4.0821	4.0821	4.5811	4.5811	4.5812	4.5812	4.6266	4.6266	5.0350	5.0350	5.0351	5.0351
10	1.6328	1.6328	1.9049	1.9049	4.0821	4.0821	4.5811	4.5811	4.5812	4.5812	4.6266	4.6266	5.0350	5.0350	5.0351
11	1.5421	1.6328	1.6328	1.9049	1.9049	4.0821	4.0821	4.5811	4.5811	4.5812	4.5812	4.6266	4.6266	5.0350	5.0350
12	1.5421	1.5421	1.6328	1.6328	1.9049	1.9049	4.0821	4.0821	4.5811	4.5811	4.5812	4.5812	4.6266	4.6266	5.0350
13	0.9978	1.5421	1.5421	1.6328	1.6328	1.9049	1.9049	4.0821	4.0821	4.5811	4.5811	4.5812	4.5812	4.6266	4.6266
14	0.9978	0.9978	1.5421	1.5421	1.6328	1.6328	1.9049	1.9049	4.0821	4.0821	4.5811	4.5811	4.5812	4.5812	4.6266
15	0.6803	0.9978	0.9978	1.5421	1.5421	1.6328	1.6328	1.9049	1.9049	4.0821	4.0821	4.5811	4.5811	4.5812	4.5812
16	0.6803	0.6803	0.9978	0.9978	1.5421	1.5421	1.6328	1.6328	1.9049	1.9049	4.0821	4.0821	4.5811	4.5811	4.5812
17		0.6803	0.6803	0.9978	0.9978	1.5421	1.5421	1.6328	1.6328	1.9049	1.9049	4.0821	4.0821	4.5811	4.5811
18			0.6803	0.6803	0.9978	0.9978	1.5421	1.5421	1.6328	1.6328	1.9049	1.9049	4.0821	4.0821	4.5811
19				0.6803	0.6803	0.9978	0.9978	1.5421	1.5421	1.6328	1.6328	1.9049	1.9049	4.0821	4.0821
20					0.6803	0.6803	0.9978	0.9978	1.5421	1.5421	1.6328	1.6328	1.9049	1.9049	4.0821
21						0.6803	0.6803	0.9978	0.9978	1.5421	1.5421	1.6328	1.6328	1.9049	1.9049
22							0.6803	0.6803	0.9978	0.9978	1.5421	1.5421	1.6328	1.6328	1.9049
23								0.6803	0.6803	0.9978	0.9978	1.5421	1.5421	1.6328	1.6328
24									0.6803	0.6803	0.9978	0.9978	1.5421	1.5421	1.6328
25										0.6803	0.6803	0.9978	0.9978	1.5421	1.5421
26											0.6803	0.6803	0.9978	0.9978	1.5421
27												0.6803	0.6803	0.9978	0.9978
28													0.6803	0.6803	0.9978
29														0.6803	0.6803
30															0.6803
31															
32															
33															
34															
35															
36															
37															
38															
39															
40															
41															
42															
43															
44															
45															
Δm_{CO_2}	40.0044	44.6311	49.2577	54.2927	59.3277	64.3627	69.3978	74.4330	79.4682	84.4581	89.4481	94.5289	99.6097	104.6907	109.7716

Tabla 27. (continuación)

Día	Desfase de generación diaria de masa de dióxido de carbono: Δm_{CO_2} (gramos)														
	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
1	5.2171	5.2171	3.8562	3.8562	3.4480	3.4480	2.8129	2.8129	2.3138	2.3138	1.9059	1.9059	1.3154	1.3154	0.8167
2	5.0809	5.2171	5.2171	3.8562	3.8562	3.4480	3.4480	2.8129	2.8129	2.3138	2.3138	1.9059	1.9059	1.3154	1.3154
3	5.0809	5.0809	5.2171	5.2171	3.8562	3.8562	3.4480	3.4480	2.8129	2.8129	2.3138	2.3138	1.9059	1.9059	1.3154
4	5.0808	5.0809	5.0809	5.2171	5.2171	3.8562	3.8562	3.4480	3.4480	2.8129	2.8129	2.3138	2.3138	1.9059	1.9059
5	5.0808	5.0808	5.0809	5.0809	5.2171	5.2171	3.8562	3.8562	3.4480	3.4480	2.8129	2.8129	2.3138	2.3138	1.9059
6	4.9899	5.0808	5.0808	5.0809	5.0809	5.2171	5.2171	3.8562	3.8562	3.4480	3.4480	2.8129	2.8129	2.3138	2.3138
7	4.9899	4.9899	5.0808	5.0808	5.0809	5.0809	5.2171	5.2171	3.8562	3.8562	3.4480	3.4480	2.8129	2.8129	2.3138
8	5.0352	4.9899	4.9899	5.0808	5.0808	5.0809	5.0809	5.2171	5.2171	3.8562	3.8562	3.4480	3.4480	2.8129	2.8129
9	5.0352	5.0352	4.9899	4.9899	5.0808	5.0808	5.0809	5.0809	5.2171	5.2171	3.8562	3.8562	3.4480	3.4480	2.8129
10	5.0351	5.0352	5.0352	4.9899	4.9899	5.0808	5.0808	5.0809	5.0809	5.2171	5.2171	3.8562	3.8562	3.4480	3.4480
11	5.0351	5.0351	5.0352	5.0352	4.9899	4.9899	5.0808	5.0808	5.0809	5.0809	5.2171	5.2171	3.8562	3.8562	3.4480
12	5.0350	5.0351	5.0351	5.0352	5.0352	4.9899	4.9899	5.0808	5.0808	5.0809	5.0809	5.2171	5.2171	3.8562	3.8562
13	5.0350	5.0350	5.0351	5.0351	5.0352	5.0352	4.9899	4.9899	5.0808	5.0808	5.0809	5.0809	5.2171	5.2171	3.8562
14	4.6266	5.0350	5.0350	5.0351	5.0351	5.0352	5.0352	4.9899	4.9899	5.0808	5.0808	5.0809	5.0809	5.2171	5.2171
15	4.6266	4.6266	5.0350	5.0350	5.0351	5.0351	5.0352	5.0352	4.9899	4.9899	5.0808	5.0808	5.0809	5.0809	5.2171
16	4.5812	4.6266	4.6266	5.0350	5.0350	5.0351	5.0351	5.0352	5.0352	4.9899	4.9899	5.0808	5.0808	5.0809	5.0809
17	4.5812	4.5812	4.6266	4.6266	5.0350	5.0350	5.0351	5.0351	5.0352	5.0352	4.9899	4.9899	5.0808	5.0808	5.0809
18	4.5811	4.5812	4.5812	4.6266	4.6266	5.0350	5.0350	5.0351	5.0351	5.0352	5.0352	4.9899	4.9899	5.0808	5.0808
19	4.5811	4.5811	4.5812	4.5812	4.6266	4.6266	5.0350	5.0350	5.0351	5.0351	5.0352	5.0352	4.9899	4.9899	5.0808
20	4.0821	4.5811	4.5811	4.5812	4.5812	4.6266	4.6266	5.0350	5.0350	5.0351	5.0351	5.0352	5.0352	4.9899	4.9899
21	4.0821	4.0821	4.5811	4.5811	4.5812	4.5812	4.6266	4.6266	5.0350	5.0350	5.0351	5.0351	5.0352	5.0352	4.9899
22	1.9049	4.0821	4.0821	4.5811	4.5811	4.5812	4.5812	4.6266	4.6266	5.0350	5.0350	5.0351	5.0351	5.0352	5.0352
23	1.9049	1.9049	4.0821	4.0821	4.5811	4.5811	4.5812	4.5812	4.6266	4.6266	5.0350	5.0350	5.0351	5.0351	5.0352
24	1.6328	1.9049	1.9049	4.0821	4.0821	4.5811	4.5811	4.5812	4.5812	4.6266	4.6266	5.0350	5.0350	5.0351	5.0351
25	1.6328	1.6328	1.9049	1.9049	4.0821	4.0821	4.5811	4.5811	4.5812	4.5812	4.6266	4.6266	5.0350	5.0350	5.0351
26	1.5421	1.6328	1.6328	1.9049	1.9049	4.0821	4.0821	4.5811	4.5811	4.5812	4.5812	4.6266	4.6266	5.0350	5.0350
27	1.5421	1.5421	1.6328	1.6328	1.9049	1.9049	4.0821	4.0821	4.5811	4.5811	4.5812	4.5812	4.6266	4.6266	5.0350
28	0.9978	1.5421	1.5421	1.6328	1.6328	1.9049	1.9049	4.0821	4.0821	4.5811	4.5811	4.5812	4.5812	4.6266	4.6266
29	0.9978	0.9978	1.5421	1.5421	1.6328	1.6328	1.9049	1.9049	4.0821	4.0821	4.5811	4.5811	4.5812	4.5812	4.6266
30	0.6803	0.9978	0.9978	1.5421	1.5421	1.6328	1.6328	1.9049	1.9049	4.0821	4.0821	4.5811	4.5811	4.5812	4.5812
31	0.6803	0.6803	0.9978	0.9978	1.5421	1.5421	1.6328	1.6328	1.9049	1.9049	4.0821	4.0821	4.5811	4.5811	4.5812
32		0.6803	0.6803	0.9978	0.9978	1.5421	1.5421	1.6328	1.6328	1.9049	1.9049	4.0821	4.0821	4.5811	4.5811
33			0.6803	0.6803	0.9978	0.9978	1.5421	1.5421	1.6328	1.6328	1.9049	1.9049	4.0821	4.0821	4.5811
34				0.6803	0.6803	0.9978	0.9978	1.5421	1.5421	1.6328	1.6328	1.9049	1.9049	4.0821	4.0821
35					0.6803	0.6803	0.9978	0.9978	1.5421	1.5421	1.6328	1.6328	1.9049	1.9049	4.0821
36						0.6803	0.6803	0.9978	0.9978	1.5421	1.5421	1.6328	1.6328	1.9049	1.9049
37							0.6803	0.6803	0.9978	0.9978	1.5421	1.5421	1.6328	1.6328	1.9049
38								0.6803	0.6803	0.9978	0.9978	1.5421	1.5421	1.6328	1.6328
39									0.6803	0.6803	0.9978	0.9978	1.5421	1.5421	1.6328
40										0.6803	0.6803	0.9978	0.9978	1.5421	1.5421
41											0.6803	0.6803	0.9978	0.9978	1.5421
42												0.6803	0.6803	0.9978	0.9978
43													0.6803	0.6803	0.9978
44														0.6803	0.6803
45															0.6803
Δm_{CO_2}	114.9887	120.2059	124.0621	127.9183	131.3663	134.8143	137.6272	140.4401	142.7539	145.0677	146.9736	148.8795	150.1949	151.5103	152.3269

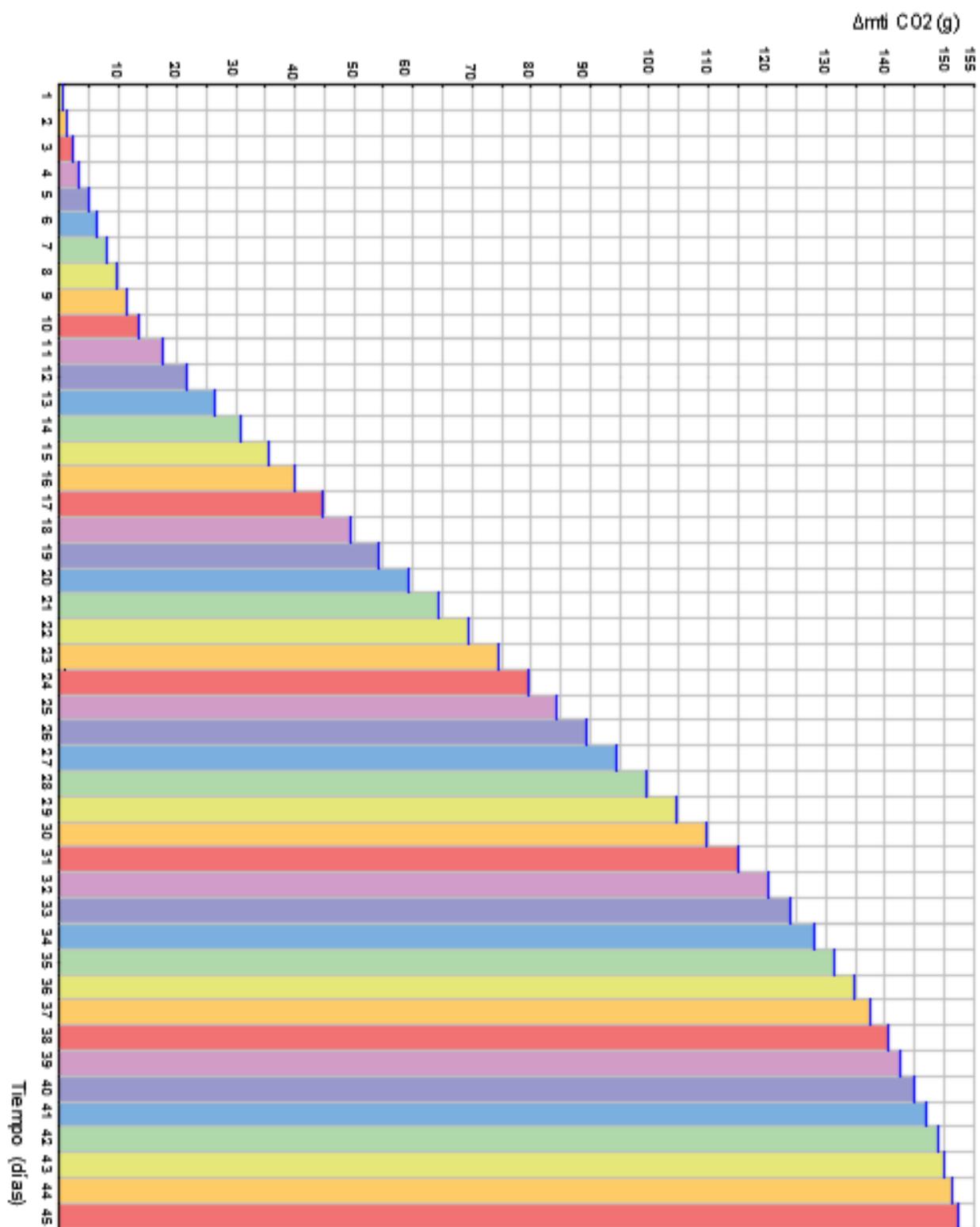


Figura 17. Valores reales de la masa de CO₂ generada diariamente en el establo

La tabla 28 corresponde al numeral 3.17 y son las concentraciones de cada uno de los gases en el establo, calculadas por el método1, en g/m^3 .

Tabla 28. Concentraciones de CH_4 y CO_2 en el establo en el día 45 (método 1).

<i>Gas</i>	<i>Día</i>	$Q\left(\frac{g}{día}\right)$	$C\left(\frac{g}{m^3}\right)$
CH₄	45	85.0715	9.3241×10^{-6}
CO₂	45	152.3269	1.66955×10^{-5}

La tabla 29 corresponde al numeral 3.18 y son las concentraciones de cada uno de los gases en el establo, calculadas por el método1, ppm.

Tabla 29. concentraciones en ppm en el establo (método 1).

<i>Gas</i>	<i>día</i>	<i>C (ppm)</i>
CH₄	45	0.0142147
CO₂	45	0.009277

Las tablas 30 y 31 corresponden al numeral 3.19 que son las desviaciones Gausseanas para calcular las concentraciones en el establo por el método2.

Tabla 30. Valores de σ_y en el establo (método 2).

Constantes			σ_y	
<i>I</i>	<i>J</i>	<i>K</i>	X=10m (0.010km)	X=20m (0.020km)
5.357	0.8828	-0.0076	3.09682706	5.97244427

Tabla 31. Valores de σ_z en el establo (método 2).

Constantes			σ_z	
<i>I</i>	<i>J</i>	<i>K</i>	X=10m (0.010km)	X=20m (0.020km)
4.694	1.0629	0.0136	0.61308073	1.38787997

Las tablas 32 y 33 corresponden al numeral 3.20 y son las concentraciones en el establo expresadas en $\mu\text{g}/\text{m}^3$, calculadas por el método 2.

Tabla 32. Concentración C del CH_4 y CO_2 en $\mu\text{g}/\text{m}^3$, para $Z=0\text{m}$, $Y=5\text{m}$ (método 2)

<i>Día</i>	<i>X (m)</i>	σ_y	σ_z	C_{CH_4} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	C_{CO_2} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
45	10	3.09682706	0.61308073	20.3801	36.4921
	20	5.97244427	1.38787997	12.10605	21.6768

Tabla 33. Concentración C del CH_4 y CO_2 en $\mu\text{g}/\text{m}^3$, para $Z=0\text{m}$, $Y=0\text{m}$ (método 2).

<i>Día</i>	<i>X (m)</i>	σ_y	σ_z	C_{CH_4} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	C_{CO_2} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
45	10	3.09682706	0.61308073	75.0349	134.3556
	20	5.97244427	1.38787997	17.18675	30.7742

Como podemos observar de los valores en los cuadros anteriores, cuanto más cerca estamos del centro de generación de gases, más altas son las concentraciones y estas se dan en la dirección del eje X (dirección del viento). Por ejemplo para el metano a los 45 días, para $X=10\text{m}$ y a 5m del eje X ($Y=5\text{m}$) la concentración es de $20.3801 \mu\text{g}/\text{m}^3$, pero para el mismo valor de X y para $Y=0\text{m}$ (en el mismo eje X) el valor es de $75.0349 \mu\text{g}/\text{m}^3$, que es un valor mayor.

La tabla 34 corresponde al numeral 3.20 y son las concentraciones gauseanas en el establo, expresadas en ppm, calculadas por el método 2.

Tabla 34. Concentraciones en el establo en ppm, halladas por el método de Gauss (método 2).

Para: $Z = 0m$, $Y = 5m$			
Día	X (m)	C_{CH_4} (ppm)	C_{CO_2} (ppm)
45	10	0.03107	0.020276
	20	0.018456	0.012044
Para: $Z = 0$, $Y = 0m$			
45	10	0.114391	0.074652
	20	0.026201	0.017099

La tabla 35 corresponde al numeral 3.21 y son las concentraciones Gausseanas para calcular las concentraciones por el método 3.

Tabla 35. Valores de σ_y y σ_z para cálculo de concentraciones (método 3).

CEA	X (km)	a	b	σ_y (m)	σ_z (m)
A	0.01	122.8	0.9447	3.358689718	1.5841575
	0.02	122.8	0.9447	6.292873852	3.049168

Con las desviaciones encontradas por este método y con las ecuaciones (20) y (21) calculamos la concentración a nivel del suelo y en el eje del viento ($Z=0, Y=0$), también a nivel del suelo y a 5m de distancia lateral ($Z=0, Y=5m$). Estos valores lo tabulamos en la tabla 36.

Tabla 36. Concentraciones C de CH_4 y CO_2 (método 3).

Para: $Z = 0m, Y = 5m$			
Día	X (m)	C_{CH_4} ($\mu g/m^3$)	C_{CO_2} ($\mu g/m^3$)
45	10	8.840922	15.830333
	20	5.414776	9.695562
Para: $Z = 0m, Y = 0m$			
45	10	26.775009	47.942660
	20	7.424505	13.294132

La tabla 37 corresponde también al numeral 3.21 y son las concentraciones en el establo expresado en ppm, calculados por el método 3.

Tabla 37. Concentraciones en el establo hallados por el método alternativo, en ppm (método 3).

<i>Para Z = 0m, Y = 5m</i>			
<i>Día</i>	<i>X (m)</i>	<i>C_{CH4} (ppm)</i>	<i>C_{CO2} (ppm)</i>
45	10	0.013478	0.008796
	20	0.008255	0.005387
<i>Para Z = 0m, Y = 0m</i>			
45	10	0.040819	0.026638
	20	0.011319	0.007387

4.1.2. Comparación con los límites permisibles

En la legislación ambiental del Perú no está normado los límites permisibles de concentración en el aire del CH₄ y CO₂, hasta la fecha el MEM ni el MINAM han acotado estos rangos, por lo que hemos tomado como referencia la normatividad de la compañía minera VOLCAN y otras que exponemos a continuación:

- 1) En el Reglamento de Seguridad e Higiene Minera (RSHM), el artículo 86.- Los límites máximos permisibles (LMP) de los agentes químicos medidos en el punto de emisión, será el siguiente:
 - a) Polvo inhalable: 10 mg/m³
 - b) Polvo respirable: 3 mg/m³
 - c) Oxígeno (O₂): mínimo 19.5%
 - d) **Dióxido de carbono (CO₂)**: máximo 9000 mg/m³ ó 5000 ppm.
 - e) Monóxido de carbono (CO): máximo 29 mg/m³ ó 25 ppm.
 - f) **Metano (CH₄)**: máximo 5000 ppm.
 - g) Hidrógeno Sulfurado (H₂S): máximo 14 mg/m³ ó 10 ppm.
 - h) Gases nitrosos (NO_x): máximo 07 mg/m³ ó 5ppm.
 - i) Anhídrido sulfuroso (SO₂): máximo 5 ppm.

- j) Aldehídos: máximo 5 ppm.
 - k) Hidrógeno (H): máximo 5000 ppm.
 - l) Ozono: máximo 0.1 ppm.
- 2) El instituto nacional de seguridad e higiene en el trabajo de España, en su revista NTP 549 expresa, respecto a las concentraciones de CO₂:
- a) Concentración CO₂ > 30 000 ppm puede causar dolor de cabeza.
 - b) **Concentración en el aire exterior:** entre 300 y 400 ppm.
 - c) **Concentración en zonas urbanas:** hasta 550 ppm.
 - d) Limite profesional para exposiciones de 8 h/día: 5000 ppm, pudiendo alcanzar hasta 15000 ppm para exposiciones cortas de 15 minutos.
 - e) Escuelas, oficinas y servicios en general: 2000 a 3000 ppm.
- 3) En el Boletín Alianza por la minería responsable, respecto al Decreto 1335 de 1993, art.26, y art.36 del Gobierno de Colombia, para jornada de 8 horas de trabajo bajo tierra el valor límite de los gases debe ser:
- a) **Bióxido de carbono (CO₂):** 0.5% ó 5000 ppm.
 - b) Monóxido de carbono (CO): 0.005% ó 50 ppm.
 - c) Ácido sulfhídrico (H₂S): 0.002% ó 20 ppm
 - d) Anhídrido sulfuroso (SO₂): 0.0005% ó 5 ppm.
 - e) Vapores nitrosos (NO+NO₂): 0.0005 ó 5 ppm.
 - f) **Metano (CH₄):** 1.5% ó 15000 ppm.
- 4) La revista técnica Colombiana, Safety Instruments, nos da los límites máximos siguientes:
- a) **Dióxido de carbono (CO₂):** 0.5% V ó 5000 ppm.
 - b) **Metano (CH₄):** 0.5% V ó 5000 ppm.

Hagamos una tabla comparativa de los valores de las concentraciones máximas calculadas por los 3 métodos utilizados y los valores permisibles dados en este numeral.

Tabla 38. Concentraciones máximas comparativas calculadas para el establo.

<i>Método de Cálculo</i>	<i>C_{CH4} (ppm)</i>	<i>C_{CO2} (ppm)</i>
<i>Celda estacionaria (Tabla 29)</i>	0.0142147	0.009277
<i>Distribución Gausseana (Cuadro 3.9.16.3) Z = 0m, Y = 5m</i>	0.03107	0.020276
<i>Distribución Gausseana (Tabla 34) Z = 0m, Y = 0m</i>	0.114391	0.074652
<i>Alternativo/rural (Tabla 37) Z = 0m, Y = 5m</i>	0.013478	0.008796
<i>Alternativo/rural (Tabla 37) Z = 0m, Y = 0m</i>	0.040819	0.026638
<i>Referencias (Numeral 4.1.2.) En minería</i>	5000	5000
<i>Referencias (Numeral 4.12.) Zona urbana</i>	No hay límite establecido	550/3000

El CO₂ puede alcanzar hasta 5000 ppm como límite profesional, para exposiciones de 8 h/día (bajo tierra).

El CH₄ puede alcanzar hasta 15000 ppm como límite profesional, para exposiciones de 8 h/día (bajo tierra).

4.2. Discusión

1. Los resultados de las concentraciones máximas en el establo, de CH₄ y CO₂ en ppm calculados por los tres métodos utilizados son muy pequeñas y difieren en centésimas de un método a otro, por lo siguiente:
 - a) El método de la celda fija estacionaria, expresa resultados para cada tiempo de cálculo, dando un resultado homogéneo para toda la celda (independiente de la posición dentro de ella) de acuerdo a la cantidad de gas que se tenga en el momento del cálculo. Los resultados se expresan para el día 45 en donde tenemos la máxima producción de gas en el establo. (ver tabla 29).
 - b) El método de distribución Gausseana, ha sido adaptado para nuestro caso, eliminando la altura de emisión de gases ($h_{ef}=0m$) para que la dispersión empiece desde la fuente de emisión y a nivel del suelo ($Z=0m$), encontrando valores aceptables y válidos en comparación con los otros métodos. Este método considera las variaciones de las concentraciones, dependiendo del punto de cálculo dentro del establo y del momento realizado (ver tabla 32).
 - c) El método alternativo es en realidad la distribución Gausseana pero utilizada para zonas rurales, donde se ha variado la forma de cálculo de las desviaciones σ_y y σ_z . Aquí también la concentración depende del punto del establo considerado y del tiempo en que se calcula (ver tabla 37).
2. Las excretas de las vacas lecheras del establo generan muy poco biogás, comparado con lo que estas emiten mediante los eructos y flatulencias. En 45 días la muestra de 20 kg de excretas ha generado 4.4829 L de CH₄ y 2.6648 L de CO₂ (a condiciones normales de presión y temperatura), lo que equivale a decir que cada kg de excretas genera en el mismo lapso de tiempo, 0.224145 L de CH₄ y 0.13324 L de CO₂. Es preciso aclarar que estos valores están muy cerca de los valores máximos que puede generar cada kg de excreta, puesto que las curvas para estos gases estaban llegando a su punto de inflexión superior, tal como puede observarse en la curva de la

figura 14, de evolución de presiones y figura 15 de evolución de masas. El análisis se hizo para 45 días, porque es el máximo tiempo que las excretas permanecen en el establo antes de ser evacuadas.

3. De acuerdo a la bibliografía revisada, se sabe que un kg de estiércol vacuno puede producir entre 37 a 170 ml de metano, durante un periodo de 10 a 18 días (en nuestro caso fue de 224 ml pero en 45 días), lo que puede considerarse despreciable, si tomamos en cuenta los 250 a 300 litros/día que puede producir una vaca como producto de su digestión.
4. Colindante al establo de estudio, existen otros establos lecheros cuyas excretas, por analogía deben generar concentraciones de gases similares a los calculados, dependiendo de la cantidad de animales que posean. Esto no implica que la calidad del aire de la zona sea una sumatoria de las contaminaciones circundantes, puesto que el análisis se realiza para cada zona específica. La cantidad de gas producida por las excretas es tan pequeña que, a poca distancia del centro de generación, las concentraciones son despreciables.
5. En el establo las masas y volúmenes de gases generados no tienen un valor constante y van en aumento de acuerdo a la cantidad de excretas que van acumulándose cada día, tomando sus valores máximos en el último día de acumulación antes de ser evacuadas. Este es el día 45 en donde los valores son: 85.0715 gramos de metano (129.6822 litros) y 152.3269 gramos de dióxido de carbono (77.0885 litros). Ver tablas 26 y 27
6. Las masas, volúmenes y concentraciones de CH_4 y CO_2 en el establo, a condiciones normales de presión y temperatura, han sido calculados usando las ecuaciones de los gases reales e ideales, pero a partir de mediciones de presión y volúmenes reales en el digestor. Esto se hizo por la necesidad de conocer cual es la influencia en la calidad del aire, sólo por las excretas de las vacas lecheras. Si utilizamos dispositivos de medición, estaremos midiendo valores totales de contaminación, en donde estaría presente la concentración de fondo, que ingresa del medio exterior y los gases emitidos por los eructos y flatulencias de las mismas vacas, que como hemos visto son mucho mayores que las emitidas por las excretas.

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

1. La cantidad de excretas que producen diariamente las 32 vacas en el establo de estudio de 578.56 kg.
2. El biogás generado en el establo es variable y en aumento de acuerdo al día considerado debido a que las excretas se incrementan diariamente. Los cálculos se realizaron para el día 45, en el cual se obtuvo 85.0715 gr de CH₄ y 152.3269 gr de CO₂ que son los valores máximos en nuestro estudio.
3. Las excretas del ganado vacuno ocasionan concentraciones muy pequeñas de CH₄ y CO₂ en el aire del establo, si observamos la tabla 38, los valores máximos encontrados son de 0.114391 ppm para el metano y 0.074652 ppm para el dióxido de carbono, los cuales resultan despreciables en cuanto a la afectación de la calidad del aire del establo, respecto a la concentración permisible para estos gases.
4. Si comparamos con los límites permisibles a los cuales se puede exponer el hombre, el límite máximo de exposición para ambos gases es de 5000 ppm y los valores encontrados para nuestra investigación están muy por debajo de la unidad y solamente en uno de los métodos de cálculo se alcanza el orden de las décimas de unidad para el metano (0.114391 ppm).
La concentración normal de CO₂ en el medio ambiente está entre 300 y 400 ppm, pudiendo alcanzar en zonas urbanas hasta 550 ppm. Estas concentraciones son para volúmenes ambientales muy grandes y las concentraciones calculadas en el establo son menores a 0.114391 ppm solamente en el volumen ambiental del establo que es un volumen comparativo muy pequeño, por tanto, la alteración de la calidad del aire por el CH₄ y CO₂ generado por las excretas de las vacas, en el establo estudiado, es despreciable.

5.2. Recomendaciones

1. En nuestra investigación, la influencia de las excretas de las vacas en el establo es pequeña y despreciable, sin embargo, debemos tenerla en cuenta, puesto que la generación de gases de efecto invernadero es constante y acumulativo en la atmósfera con el tiempo. Si consideramos todas las excretas del ganado existente en la zona rural del valle de santa, los resultados serían parecidos, pero estaríamos abarcando un volumen ambiental mayor y una acumulación de GEI que sería bueno investigar y calcular. Debemos de poner énfasis en la mitigación del efecto invernadero del metano ya que es 23 veces mayor al del dióxido de carbono y además tenemos la posibilidad de utilizarlo en la generación de calor o energía eléctrica.
2. De acuerdo a la bibliografía utilizada y a la investigación realizada, es el animal el que emite casi el total de los gases analizados por los eructos y flatulencias y solamente un pequeño porcentaje corresponde a la generación por las excretas. Estas emisiones por animal son más altas cuando la dieta es más pobre, luego podemos recomendar que la mejor forma de reducir las emisiones de metano en las vacas del establo, es mejorando su nivel nutricional. Esto significa una mayor capacitación del pequeño ganadero en la zona rural del valle de Santa.
3. El peligro de mayor afectación de la calidad del aire del establo, no está en las excretas, si no en el mismo animal. Es recomendable instruir al ganadero para tener una producción animal sostenible y buscar una menor producción de metano, manipulando la alimentación de las vacas considerando de que esta es una alternativa que se puede conseguir y contribuir así a una efectiva disminución del efecto invernadero. Mejorar la alimentación del ganado bovino en general para tener mejores características fermentativas a nivel ruminal es una investigación urgente y necesaria en las zonas rurales de nuestra patria.

4. La evacuación y uso oportuno (inmediato) del estiércol del ganado vacuno, solucionaría completamente la generación de GEI por parte de este residuo.
5. Es recomendable usar las excretas construyendo biodigestores en las regiones de alto potencial agropecuario como Puno, Cajamarca, Ancash, entre otros, para aprovechar el biogás en la generación de energía eléctrica y energía calorífica. Estos tipos de energía contribuirían eficazmente en el desarrollo de la industria agropecuaria y serviría también para uso doméstico de la población rural. El apoyo del estado es importante para la ejecución de estos proyectos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arce, J. (2011), *Diseño de un biodigestor para generar biogás y abono a partir de desechos orgánicos de animales aplicable en las zonas agrarias del litoral*. Tesis previa a la obtención del título de Ingeniero Industrial, Universidad politécnica Salesiana Sede Guayaquil, Ecuador, pp.17-18.
- Arrieta, W. (2016). *Diseño de un biodigestor doméstico para el aprovechamiento energético del estiércol de ganado*. Tesis de pregrado en Ingeniería Mecánica-Eléctrica. Universidad Nacional de Piura, Perú. p.34.
- Berra, G. , Finster, L. y Valtora, S. (2009). Una Técnica Sencilla para la Medición de Emisiones de Metano Entérico en Vacas. *Revista FAVE – Ciencias Veterinarias* 8(1). pp. 53-54.
- Boletín: *Alianza por la Minería Responsable* (2015). Ventilación. Decreto Número 1335-1993, Capítulo I, art. 26, Capítulo II, art. 36. Gobierno de Colombia.
- Cambrá-López, M., García, P., Estellés, F. y Torres, A. (2008). Revisión bibliográfica: *Estimación de las emisiones de los rumiantes en España: El factor de conversión de metano*. *Archivo Zootec.* 57(R), p. 90.
- Carmona, J., Bolívar, D., y Giraldo, L. (2005). El gas metano en la producción ganadera y alternativas para medir sus emisiones y aminorar su impacto a nivel ambiental y productivo, *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 18(1), pp. 50-51.
- Cordero, R. (2013). *Caracterización química del estiércol y su manejo en explotaciones de lechería familiar de los altos de Jalisco*. Tesis de grado para obtener el título de Ingeniero de Sistemas. División de Ciencias Biomédicas e Ingeniería. Universidad de Guadalajara, pp. 10,14.
- Cornejo, C., y Wilkie, A. (2010). De estiércol a energía – Captura de metano en Ecuador. *Revista tecnológica ESPOL – RTE*, vol. 23(1). Soil and Water Science Department, Universidad de Florida, EE:UU. p. 136.

Cuevas Emilio (2020, Julio 20). La concentración de CO₂ en la atmósfera alcanza record de 415 ppm. *EUROPA PRESS*, p.C1. Copiado el 21 de julio 2020 de:

<https://www.europapress.es/sociedad/medio-ambiente-00647/noticia-concentracion-co2-atmosfera-alcanza-record-415-ppm-primera-vez-hace-millones-anos-20190514130935.html>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO,2006). *La larga sombra del ganado, problemas ambientales y opciones*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Informe. Roma, Italia, pp. xxii, 126, 128, 134-135.

Hernández, N., Salinas, J., Saynes, V., Ayala, J., Hernández, F. y Velasco, J. (2018). Emisión de N₂O, CO₂ y NH₃ a partir de estiércol de bovinos con diferente porcentaje de proteína cruda en la dieta. *Revista Int. Contaminación Ambiental*. 35 (3), p. 599. DOI: 10.20937/RICA.2019.35.03.07

Lopez, J. (2006). *Medio ambiente comunitario y protocolo de kioto: la armonización de la imposición energética o un mercado sobre emisiones de gases de efecto invernadero*. Tesis para obtención del Grado de Doctor, Facultad de Derecho, Universidad de Granada, España, p. 4.

Magrí, A., Prenafeta-Boldú, F. y Flotats, X. (editores), (2008). Libro de Actas del I Congreso Español de Gestión Integral de Deyecciones Ganaderas. Sesión 1. *Ganadería y medio ambiente*. Editorial Dicapgraf. Barcelona. P.22. ISBN: 978-84-936421-0-5

Gobierno de Chile (2011). MINERGA/PNUD/FAO/GEF. *Manual de Biogás*. Editado por: Proyecto CHI/00/G32, "Chile: Remoción de Barreras para la Electrificación Rural con Energías Renovables", pp. 26, 34. ISBN 978-95-306892-0

Pinos, J., García, J., Peña, L., Rendón, J., Gonzales, C., y Tristán, F. (2012). Impactos y regulaciones ambientales del estiércol generado por los sistemas ganaderos de algunos países de América. Publicado como ENSAYO en *Agrociencia*, 46(4), pp. 359-360, 368.

Reglamento de Seguridad e Higiene Minera RSHM (sin fecha). Artículo 86: *Los límites máximos permisibles (LMP) de los agentes químicos medidos en el punto de emisión*. Extraído de la Resolución N° 114-2011-OS/TASTEM-S2, Tribunal de apelaciones de sanciones en temas de energía y minería OSINERGMIN. Lima, 08 julio 2011.

Salazar, J., Amusquivar, C., Llave, J. y Rivasplata, C. (2012). *Producción de biogás y biol a partir de excretas de ganado: experiencias en la ciudad de tacna*. XIX Simposio Peruano de Energía Solar y del Ambiente, del 14-17.11.2012, Puno, Perú. p. 1.

Sánchez y Calero (2013). Obtención de Biogás a partir de la mezcla estiércol bovino – agua mediante la construcción de un biodigestor tipo Batch a escala de labortorio, perteneciente al Departamento de Química de la Facultad de Ciencias e Ingenierías de la UNAM – Managua, Febrero – Julio 2013. Seminario de Graduación para optar el título de Licenciado en Química, de la Universidad Autónoma de Nicaragua, pp. 1, 3.

Sogari, Noemi (2003). *Cálculo de la producción de metano generado por distintos restos orgánicos*. Resumen: T-027, (pp. 1-4). Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura, Universidad Nacional del Nordeste, Argentina. Extraído el 3 de mayo del 2019 desde:

http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/81456/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Tapia, N. (2008). *Análisis de sustentabilidad de un biodigestor en un establo lechero de una comunidad rural*. Tesis para obtener el título de Ingeniero en Procesos Ambientales. División de carreras Agronómicas, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna, Torreon, Coahuila, Mexico. pp. 13, 19-20, 25, 34-35.

Urteaga, D. (2016). *Monitoreo de las concentraciones atmosféricas de metano en la ciudad de Tandil: correlación con parámetros metereológicos y estimación de emisiones fugitivas originadas por el consumo de gas natural*. Trabajo final de

la licenciatura en Tecnología Ambiental. Facultad de ciencias exactas, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Tandil, Argentina, pp. 29-30.

Vera, I., Estrada, M., Martínez, J., y Ortiz, A. (2013). Potencial de generación de biogás y energía eléctrica. Parte I: excretas del ganado bovino y porcino. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 15(3). Artículo arbitrado de divulgación científica mexicana. pp. 430-433.

ANEXOS

ANEXO 1: Vista panorámica de la zona rural donde se ubica el establo.

ANEXO 2: Forraje principal de las vacas lecheras en el establo.

ANEXO 3: Actividad principal (producción de leche).

ANEXO 4: Zona de forrajeo de las vacas en el establo.

ANEXO 5: Secuencia de aumento de excretas en el establo.

ANEXO 6: Establos y vacas lecheras rurales vecinas al establo de análisis

ANEXO 7: Excretas de ganado vacuno

ANEXO 1: Vista panorámica de la zona rural donde se ubica el establo.



A1.1.



A1.2.

ANEXO 2: Forraje principal de las vacas lecheras en el establo.



A2.1. Panca de maiz.



A2.2. Ramas y raices de camote.

ANEXO 3: Actividad principal (producción de leche).



A3.1. Bidones de acumulación de leche para la venta.



A3.2. Vacas ordeñadas y bidones de leche.

ANEXO 4: Zona de forrajeo de las vacas en el establo.

A4.1.



A4.2.



A4.3.

ANEXO 5: Secuencia de aumento de excretas en el establo.

A5.1. Zona limpia en el establo.



A5.2. Inicio acumulación excretas.



A5.3. Incremento de excretas.



A5.4. Excretas antes de evacuación.

ANEXO 6: Establos y vacas lecheras rurales vecinas al establo de análisis.



A6.1. Establo vecino 1, lleno de excretas.



A6.2. Establo vecino 2, lleno de excretas.



A6.3.



A6.4.



A6.5.



A6.6.

ANEXO 7: Excretas de ganado vacuno

Tesis_maestria

por Walter Concepción

Fecha de entrega: 22-abr-2022 06:27p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 1817715550

Nombre del archivo: word_principe_corregido.docx (3.38M)

Total de palabras: 21296

Total de caracteres: 112084

Tesis_maestria

INFORME DE ORIGINALIDAD

20%

INDICE DE SIMILITUD

20%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

9%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	1library.co Fuente de Internet	2%
2	www.ridaa.unicen.edu.ar Fuente de Internet	1%
3	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
4	www.redalyc.org Fuente de Internet	1%
5	pt.scribd.com Fuente de Internet	1%
6	tesis.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	creativecommons.org Fuente de Internet	<1%
8	virtual.urbe.edu Fuente de Internet	<1%
9	documentop.com Fuente de Internet	<1%

10	dspace.unitru.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
11	www.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
12	documents.mx Fuente de Internet	<1 %
13	Submitted to BENEMERITA UNIVERSIDAD AUTONOMA DE PUEBLA BIBLIOTECA Trabajo del estudiante	<1 %
14	juntoscuidandonuestromedioambiente.blogspot.com Fuente de Internet	<1 %
15	bacaalejandro16.blogspot.com Fuente de Internet	<1 %
16	www.repositorio.usac.edu.gt Fuente de Internet	<1 %
17	www.scielo.org.mx Fuente de Internet	<1 %
18	www.unne.edu.ar Fuente de Internet	<1 %
19	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
20	www.europapress.es Fuente de Internet	<1 %
21	repositorio.cualtos.udg.mx:8080	

Fuente de Internet

<1 %

22

Submitted to Pontificia Universidad Católica de Chile

Trabajo del estudiante

<1 %

23

www.oecd.org

Fuente de Internet

<1 %

24

www.upo.es

Fuente de Internet

<1 %

25

docplayer.es

Fuente de Internet

<1 %

26

repositorio.unan.edu.ni

Fuente de Internet

<1 %

27

Submitted to Universidad Internacional de la Rioja

Trabajo del estudiante

<1 %

28

sedici.unlp.edu.ar

Fuente de Internet

<1 %

29

repositorio.uns.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

30

www.fao.org

Fuente de Internet

<1 %

31

www.vegetarianismo.net

Fuente de Internet

<1 %

32	repositorio.uaaan.mx:8080 Fuente de Internet	<1 %
33	dokumen.pub Fuente de Internet	<1 %
34	www.aguascalientes.gob.mx Fuente de Internet	<1 %
35	repositorio.utc.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
36	es.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
37	repositorio.una.edu.ni Fuente de Internet	<1 %
38	repositorio.unsa.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
39	vsip.info Fuente de Internet	<1 %
40	dspace.esPOCH.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
41	nanopdf.com Fuente de Internet	<1 %
42	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1 %
43	www.ingenieria.unam.mx Fuente de Internet	<1 %

44	www.mtas.es Fuente de Internet	<1 %
45	repositorio.ug.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
46	repositorio.unheval.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
47	Submitted to Universidad de Lima Trabajo del estudiante	<1 %
48	www.significados.com Fuente de Internet	<1 %
49	Submitted to Escuela Politecnica Nacional Trabajo del estudiante	<1 %
50	Submitted to Universidad Wiener Trabajo del estudiante	<1 %
51	repositorio.unu.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
52	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	<1 %
53	Jhojan Stiven Zea Fernandez, Laura Camila Castillo Mendez, Mario Alberto Luna-DelRisco, Sebastian Villegas Moncada et al. "Virtual tool for the promotion of anaerobic conversion technologies of residual biomass in Colombian rural areas.", 2020 15th Iberian	<1 %

Conference on Information Systems and Technologies (CISTI), 2020

Publicación

54	fundacionsolon.org Fuente de Internet	<1 %
55	www.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
56	ingenieria.unicach.mx Fuente de Internet	<1 %
57	issuu.com Fuente de Internet	<1 %
58	www.elsevier.es Fuente de Internet	<1 %
59	docslide.it Fuente de Internet	<1 %
60	repositorio.uchile.cl Fuente de Internet	<1 %
61	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	<1 %
62	Submitted to Universidad Santo Tomas Trabajo del estudiante	<1 %
63	pirhua.udep.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
64	studylib.es Fuente de Internet	<1 %

65

www.clubensayos.com

Fuente de Internet

<1 %

66

docslide.us

Fuente de Internet

<1 %

67

renati.sunedu.gob.pe

Fuente de Internet

<1 %

68

repositorio.unp.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

69

repositorioinstitucional.buap.mx

Fuente de Internet

<1 %

70

Submitted to Tecsup

Trabajo del estudiante

<1 %

71

bibliotecavirtual.unl.edu.ar

Fuente de Internet

<1 %

72

www.lexjuris.com

Fuente de Internet

<1 %

73

www.vertice2000.cl

Fuente de Internet

<1 %

74

Submitted to Universidad Nacional de Colombia

Trabajo del estudiante

<1 %

75

es.slideshare.net

Fuente de Internet

<1 %

76

www.wikizero.com

Fuente de Internet

<1 %

77

amcaonline.org.ar

Fuente de Internet

<1 %

78

Submitted to Aliat Universidades

Trabajo del estudiante

<1 %

79

repositorio.unapiquitos.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

80

repositorio.unh.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

81

repositorio.upeu.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

82

www.pionet.org

Fuente de Internet

<1 %

83

www.semanticscholar.org

Fuente de Internet

<1 %

84

"Técnicas de muestreo para manejadores de recursos naturales", Universidad Nacional Autónoma de Mexico, 2011

Publicación

<1 %

85

econferencias.uacj.mx

Fuente de Internet

<1 %

86

quimicainorganicareachbtpa.blogspot.com

Fuente de Internet

<1 %

87	repositorio.cinvestav.mx Fuente de Internet	<1 %
88	repositorio.unas.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
89	repositorio.upse.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
90	www.jove.com Fuente de Internet	<1 %
91	Submitted to Universidad de Alcalá Trabajo del estudiante	<1 %
92	acervo.ufvjm.edu.br Fuente de Internet	<1 %
93	doku.pub Fuente de Internet	<1 %
94	edu.glogster.com Fuente de Internet	<1 %
95	masternevada.blogspot.com Fuente de Internet	<1 %
96	repositorio.cepal.org Fuente de Internet	<1 %
97	repositorio.unfv.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
98	repositorio.upt.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

99	repository.ean.edu.co Fuente de Internet	<1 %
100	www.bbc.com Fuente de Internet	<1 %
101	www.ciba.org.mx Fuente de Internet	<1 %
102	www.cienciaviva.net Fuente de Internet	<1 %
103	www.voltairenet.org Fuente de Internet	<1 %
104	catarina.udlap.mx Fuente de Internet	<1 %
105	f5.com Fuente de Internet	<1 %
106	livrosdeamor.com.br Fuente de Internet	<1 %
107	noticiascd.mx Fuente de Internet	<1 %
108	pdfcoffee.com Fuente de Internet	<1 %
109	prezi.com Fuente de Internet	<1 %
110	quim.iqi.etsii.upm.es Fuente de Internet	<1 %

111	repositorio.uancv.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
112	repositorio.usm.cl Fuente de Internet	<1 %
113	repositorio.uss.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
114	repository.uamerica.edu.co Fuente de Internet	<1 %
115	ri-ng.uaq.mx Fuente de Internet	<1 %
116	whc.UNESCO.org Fuente de Internet	<1 %
117	www.dspace.unitru.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
118	www.intellexport.com.co Fuente de Internet	<1 %
119	www.mecamex.net Fuente de Internet	<1 %
120	www.musol.org Fuente de Internet	<1 %
121	www.redcatedras.net Fuente de Internet	<1 %
122	www.reficar.com.co Fuente de Internet	<1 %

123

idoc.pub

Fuente de Internet

<1 %

124

eduardomartinezconalep183.wordpress.com

Fuente de Internet

<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias

Apagado

Excluir bibliografía

Activo