



Fernando R. Feuchter A.
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO
Centro Regional Universitario del Noroeste
feuchter57@yahoo.com

CRUNO



PRINCIPIOS DE LA PRODUCCIÓN DE GAS METANO PORCINO EN LAGUNAS ANAERÓBICAS.

RESUMEN

Esta es una alternativa de bioremediación para transformar excrementos en la producción de gas metano (CH_4) como biohidrocarburo, por medio de reactores múltiples o lagunas anaeróbicas de tratamiento, cubiertas por geomembrana de plástico flotante, haciendo un aprovechamiento sostenible como biocombustible en calderas térmicas de vapor y empleando un generador eléctrico para auto abastecer la granja porcina, dejando de consumir energía fósil con alto costo de producción. Se integra un diseño de biodigestores en batería de flujo diario de baja agitación y perturbación para que no decanten las fibras de celulosa y hemicelulosa. No es de flujo continuo porque ingresa periódicamente oxígeno y bacterias metanotróficas, perdiendo eficiencia. Debe ser en sistema encadenado para cada día (ver fotografía), que como modelo y ejemplo lo harían los grandes maestros de la industria cervecera. Se forma un medio de cultivo anaeróbico en fase líquida por los microorganismos metanogénicos que van a utilizar como nutrientes las excretas o estiércol que no han sido digeridos, aunado al desperdicio de los comederos con alimento balanceado porcino al caer por la rendija de los pisos, el cual es acarreado hacia canaletas de drenaje de salida, durante el lavado y limpieza en granjas confinadas, con el objeto de ser extraídas de las instalaciones. Al final de la fermentación de los compuestos químicos habrán reducido 90% la demanda bioquímica de oxígeno.





Fotos de Carolina del Norte y abajo a la derecha en México para 300 cerdas.

INTRODUCCIÓN

La producción de gas metano (CH_4) existe de forma natural por millones de años formando grandes yacimientos de hidrocarburos junto a reservorios petrolíferos y gas helio; acumulándose por siglos en grandes cantidades atrapadas en las profundidades de la tierra, los océanos, las capas de hielo permanente y humedales. Su origen es biológico al ser producido metabólicamente por microorganismos y plantas unicelulares metanogénicas que utilizan el CO_2 , metilo (CH_3) u otras sustancias orgánicas para sintetizar CH_4 . Su extracción y compresión lo hacen un combustible y reactivo químico de alta demanda industrial, urbana y comercial. Su equilibrio en la naturaleza es minimizado con la participación de microorganismos metanotróficos que oxidan el $\text{CH}_4 + 2 \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$, en ello con mucho contribuyen los océanos como sumideros de CO_2 , pero si se daña la estabilidad de los 7 mares se revertirán como expulsores masivos de gases.

La característica física menos deseada del gas metano es que se está acumulando en la atmósfera y tiene una propiedad de refracción de la luz solar 30 veces más alta que el CO_2 , ocasionando un incremento en la tasa del calentamiento atmosférico, el cual deshiela grandes capas de la tierra que van liberando metano atrapado en los glaciares.

Estudios indican que los gases de la atmósfera como el bióxido de carbono CO_2 persisten en la naturaleza por mil años y el metano tiene una vida corta de 12 años. Otros gases de vida larga son sulfato de hexafluoruro (SF_6), varios clorofluorocarbonos y ozono O_3 . El metano no es el único gas que ocasiona calor por la refracción solar provocando un efecto de invernadero global. Por mencionar su valor calorífico $\text{CO}_2:1$, $\text{CH}_4: 30$, $\text{NO}_2:270$, clorofluorocarbonos CFC: 5000. La disminución frontal directa sobre los emisores de CH_4 como iluminación, transporte, refrigeración, etc. es la clave para minimizar el impacto ambiental del mundo.

Y si el gas CH_4 es relativamente abundante ¿Por qué producirlo en un ambiente controlado? La ONU 2021 resalta; que si bien la minería, industria petrolera y de hidrocarburos, la basura urbana son los mayores aportadores de gases que alternan la composición del aire, la industria agropecuaria participa activamente para cumplir con la normativa, legislación nacional y acuerdos internacionales que buscan decrecer para el

2030 las emisiones de metano hasta reducirlas comparativamente a las registradas en el 2010, logro que permitirá reducir 1.5°C la temperatura global para el 2050. <https://news.un.org/es/story/2021/05/1491742>. Un estudio de la INECC 2021 señala que México se ha comprometido a realizar inversiones en 35 medidas de mitigación con un potencial cercano a 237 millones de toneladas equivalentes de bióxido de carbono (MtCO₂e) antes del 2030, en la que se incluyen como política pública apoyar económicamente la instalación de biodigestores agropecuarios. El artículo de Vidal 2017 y Claudia Sheinbaum Pardo resaltan que la regulación mexicana debe proceder a reducir el uso de energías fósiles e incrementar tecnologías con bajo impacto ambiental de carbono como empleando biomasa, biogás y otras alternativas para generar electricidad.

Cabe la pregunta de la necesidad y conveniencia económica y ambiental de producir y capturar gas metano por medio de excretas de granja en un medio anaeróbico artificial, de alto costo de inversión, pero que constituye un alto impacto de mitigación en la producción de alimentos de vida sana, empleando microorganismos que en su metabolismo van a formar estas moléculas.

Si el estiércol colectado de los animales se tira libremente a la tierra agrícola como abono orgánico y mejorador del suelo, al tiempo de su descomposición microbiana se formará CO₂, pero si se almacena en lagunas aeróbicas, sin cubierta o con aireadores para reducir los olores, mucho del gas formado entrará libre a la atmósfera contribuyendo mínimamente al aporte de gases con efecto de invernadero. Tan solo al controlar el biogás producido por las granjas del mundo, aprovechando la generación de energía y reciclando los desechos de aguas y orgánicos, se estima que bajará el calentamiento global -0.5°C en la próxima década.

Desde antaño se ha usado una tecnología simple colectando y separando sólidos de excretas de animales para reducir la cría de moscas, olores fétidos y aprovechar las boñigas incorporándolas a las tierras de cultivo. Sin éxito por fallas de manejo, las excretas porcinas no han resultado ideales para su transporte, tampoco como insumo en la dieta al presentarse ciclos de toxicidad para ser un subproducto económicamente viable en la alimentación de rumiantes. Si la superficie del espejo de agua forma espuma es una laguna biológicamente activa con menos ácidos grasos volátiles fétidos, pero con mayor generación de gas metano. Se requiere la aplicación combinada de nuevas tecnologías como biorreactores de membrana para generar y capturar biogás para producir calor y generar electricidad. Hay reportes alentadores de investigación microbiológica que hacen el sistema de conversión de materia orgánica a gas energético, más eficiente.

IMPLICACIONES SOCIALES DE LOS BIOREACTORES Y SU PROBLEMÁTICA

La producción de alimentos es esencial para la vida y el desarrollo de las actividades sociales y laborales. Compite con la humanidad en el uso de recursos naturales utilizando espacio, agua, energía e insumos. La carne de cerdo alcanza el mayor consumo per cápita mundial, por lo que su preferencia del consumidor alienta la inversión a nuevas instalaciones porcinas. En México no es la excepción ya que existe un gusto culinario por

los guisos con carne de cerdo y su demanda genera una sobre demanda, por lo que se tienen que importar anualmente 1.5 millones de toneladas de carne y para reducir la salida de divisas se alienta la creación de mayores granjas altamente tecnificadas y financieramente rentables. De esta manera las granjas porcinas por su crecimiento poblacional generan contaminantes y no solo por decir gas metano entérico, CO₂ por la respiración de los animales, sino por la descomposición de los desechos y excretas que se producen diariamente.

En el caso de las granjas porcinas un impacto negativo en el mal manejo de los excrementos genera amonía (NH₃), ácido sulfúrico (H₂S) y monóxido de carbono CO. Su acumulación de materia orgánica reacciona produciendo bióxido de carbono (CO₂), gas metano (CH₄) y olores. Cada unidad de producción porcina desea alcanzar progresivamente la neutralidad de las emisiones de gases con efecto de invernadero. Para ello implementa mejoras prácticas de manejo zootécnico y tecnologías de innovación.

La industria porcícola participa capturando estos desechos sólidos y gases para reducir sus emisiones, busca secuestrar carbono abonando el subsuelo, reciclar las aguas en la limpieza de la granja y usarla para el riego agrícola. Implementa alternativas de paneles solares fotovoltaicos, postes eólicos, reforestación perimetral como rompevientos.

La producción de carne de cerdo e vida sana no está libre de contaminantes, pero existen tecnologías y prácticas de manejo zootécnico que harán la producción de alimentos con niveles neutros de contaminantes.

ANTECEDENTES

PORCICULTURA MUNDIAL: La carne de cerdo es la proteína animal más consumida a nivel mundial, se festeja el 15 de marzo el día mundial del cerdo. En abril 2024, México constituyó el día del porcicultor también para el 15 de marzo. Si bien hay culturas que prohíben el consumo de carne de cerdo y muchos países socialmente no aceptan su ingesta como alimento humano. La preparación de carnitas es muy popular en el mundo.

Durante los 70s en los EUA a lo largo de la costa del Pacífico y posiblemente en otros lugares se construyeron pilas herméticas de concreto armado con varilla y hormigón para reducir los contaminantes que generaban las granjas porcinas. En un proceso anaerobio se generaba gas metano de manera muy eficiente, los sedimentos sobrantes eran sólidos y minerales no digeridos por la flora microbiana de fermentación y así los líquidos sobrantes salían como desechos de bajo impacto ambiental. La limitante es que la capacidad de almacenamiento del búnker tan solo capturaba 2 días de colecta de efluentes de la granja, mientras se cerraba el biorreactor anaerobio por 23 días para el proceso de degradación y 5 días de limpieza. De esta manera durante los 28 días del mes las excretas de los cerdos seguían fluyendo libremente como desechos contaminantes. Su contribución al impacto de reducir la contaminación realmente era bajo, aunado a su alto costo de construcción y mantenimiento. El principio de fermentación estaba bien aplicado, solo limitado al costo de construcción.

Hoy en día la tecnología zoonosanitaria, manejo de instalaciones y equipo de automatización permiten la alta concentración de animales en un solo lugar. En Texas EUA, en un área de 800 hectáreas se establecieron en forma separada 6 granjas de 3,000 vientres cada una, con unidades de destete y naves de finalización, junto con la planta de alimentos balanceados.

En EUA, España se instalan granjas porcinas sitio uno (S1) con 10,000 vientres. Las crías destetadas se colocan a distancia del S1, en granjas diseñadas de ambiente controlado artificialmente para reducir la mortalidad de los lechones. Las granjas de finalización o engorda (S3) son las de mayor volumen en el consumo de alimento.

En China desde el 2020, en apoyo a las compañías constructoras, se están construyendo edificios de 10-20 pisos, como granjas porcinas verticales, con clima controlado artificialmente, para concentrar más de 500,000 animales en cada unidad de producción, en la que incluyen elevadores con capacidad para 20 personas y con ello poder subir y bajar insumos, animales y personal laboral.

PORCICULTURA NACIONAL EN MÉXICO: A partir de los 70s se inicia el desarrollo de la porcicultura estabulada con granjas de 150 vientres como punto de equilibrio financiero, para 1975 se necesitaban instalaciones para 250 hembras con corrales de desarrollo y engorda incluidos ya que el período de lactación era hasta de 35 días, en los 80s el análisis de factibilidad financiera requería establecimientos para 450 marranas, en 1985 ya era de 500 reproductoras, aunque desde temprano ya existían las grandes granjas porcinas de 1,000 vientres. Para poder controlar el virus del síndrome reproductivo y respiratorio porcino (PRRS) a principios de los 90s, las granjas modifican severamente su diseño estructural separándose en sitios 1 exclusivamente para reproductores y maternidad, el sitio 2 para albergar cerditos recién destetados a edades entre 16-21 días y los sitio 3 son los corrales de crecimiento, engorda y finalización. Durante 1995 los poricultores individuales para mantenerse en el negocio empezaron a rentar, comprar o construir granjas para manejar más de 5,000 vientres en granjas separadas. De esta manera en el 2000 se construyen individualmente granjas reproductoras con instalaciones para albergar 5,000 vientres, con maternidades de lactación de 21 días.

La SEMARNAT en coordinación con la SADER crea un programa nacional aplicado por FIRCO para construir lagunas cubiertas de plástico PVC de membrana gruesa en apoyo a los productores lecheros y porcícolas para que pudieran reducir sus niveles de contaminación y poder apegarse a las leyes vigentes y así evitar multas y cierre de operaciones de establos y granjas confinadas de cerdos.

Se instalaron en todo México 479 lagunas de digestión anaeróbica en las que resaltan Sonora con 157, Jalisco 124 y en la Comarca Lagunera 64, pero éstas son tan solo el 8% de las necesidades nacionales para reducir la contaminación de las instalaciones de animales confinados. Méndez 2015

PORCICULTURA SONORA: El estado de Sonora ocupa el 2do lugar de producción nacional con 380 granjas de cerdos en operación, albergando 185,000 vientres reproductores para producir al año 1.4 millones de toneladas de cerdo en pie en los sitios de las granjas en engorda y finalización.

En su parcial exportación de carne en canal desde 1974 y cortes especiales, principalmente al mercado japonés, aportan divisas por más de \$300 millones de dólares al año. Hay regulaciones del mercado internacional por la Asociación Mexicana de Exportaciones de Carne de Cerdo (Mexican Pork). La Organización de Porcicultores Mexicanos (OPORMEX) presenta una visión estratégica de la industria porcina mexicana hacia el futuro. No se fija una meta de destino, un punto de llegada; sino un planteamiento de proceso continuo, realizando una jornada de mejor sin parar.

Sonora es considerado un estado ganadero, pero sus ventas nacionales de carne total de cerdo superan los \$13.7 mil millones, siendo 1.5 mayor que la comercialización de carne de res al año. Datos de la ganadería del estado de Sonora.

En el 2004 AgCert, una empresa extranjera se instala con oficinas centrales en México D.F, con fines de generar bonos de carbono en granjas y establos a nivel nacional para ser vendidos en el mercado internacional, cotizando en la bolsa de Londres Pérez 2018. En un centro de operaciones de campo en Cd. Obregón se construyeron 150 lagunas biodigestoras calculadas a la capacidad del tamaño de cada granja porcina. Si bien incursionaron un poco en establos lecheros y granjas de producción de huevo. De alguna manera la empresa sale de operaciones en México. Posiblemente sus instalaciones siguen funcionando y continúan en operación, ya que las granjas porcinas más grandes con mayor capacidad de animales instalaron generadores eléctricos específicos para combustión de gas metano y resistentes al ácido sulfúrico, sin ser afectados por otros componentes de gases corrosivos, pero sin potencial calórico.

Al incremental la presión legislativa gubernamental para que las granjas redujeran los contaminantes ambientales que eran depositados al aire libre, en drenes, vasos de arroyos y en ocasiones conducidos hasta la desembocadura del mar. El FIRCO continuó apoyando a los productores porcinos para instalar 157 biodigestores. Méndez 2015. Sin embargo, la mayoría de las granjas con lagunas biodigestoras tan solo queman al aire el gas metano colectado y no utilizan su energía calórica para reducir costos en calefactores y existe un bajo empuje de excrementos porcícolas para ser incorporados al suelo agrícola con el fin de mejorar la estructura del suelo, incrementar el contenido de materia orgánica y aprovechar como abona el aporte de minerales.

Una empresa alemana que maneja los bonos de carbono en el mercado internacional se ha establecido 2023 en América, con oficinas en EUA y México, para realizar proyectos sostenibles de captura con energía circulante en las industrias.

El aprovechamiento de la energía circulante permite ahorros que en este ciclo productivo 2024 sería de mucha ayuda para la revolvencia financiera y sostenerse en la actividad porcícolas.

Desde el 2020 se han construido nuevas granjas porcinas con corrales de gestación para manejar en una sola unidad 10,000 hembras reproductoras, unas pocas ya en funcionamiento y producción y otras en proceso de construcción.

MATERIALES Y MÉTODOS

La producción controlada de gas metano por medio de reactores de biodigestión anaeróbicas. Normalmente el excremento en suspensión líquida pasa por gravedad a una laguna de decantación a cielo abierto para precipitar pelos, basura sólida y otros productos de descarte. Continúan pasando los efluentes a una laguna profunda de almacenamiento y retención para su descomposición en la que con el tiempo emiten al aire diversos gases que causan un efecto de invernadero, olores y contaminación si se desborda la capacidad de retención de líquidos.

Para su aprovechamiento controlado como recurso energético la laguna se cubre con plástico bajo un sistema de fermentación sin oxígeno para que los microorganismos estabilicen en su etapa inicial de 120 días, sus poblaciones para producir gas biometano, el cual queda retenido junto con otros gases con la cubierta de geomembrana. Después del período de fermentación de 5 días, los carbohidratos más simples de cadena corta, se han transformado al concluir el ciclo biológico exponencial de reproducción y crecimiento poblacional de los microorganismos, hongos, Bacilos y Archaea metanogénicas, proceso en el que metabolizaron biometano.

Para establecer como alternativa en una granja porcina un biodigestor en batería de flujo diario, como lo haría el proceso de fabricación de cerveza. Una bolsa de geomembrana individual con capacidad para retener los efluentes colectados de cada día y que perdure colectando biogás por 30 días alargando el período del bioreactor. Sería un sistema con 30 reactores separados más las bolsas del sistema en el proceso de limpieza, recarga de inicio y aprovechamiento del gas retenido. Al igual que la fermentación de la cebada maltera en recipientes secuenciales en batería, todos los días embotellan y todos los días llenan un tanque limpio de nuevo. Aun así, generan un desecho del bagazo pastoso de cerveza, mientras que en el pasado en las granjas porcinas se han usado modelos de biodigestión continua, semicontinua y sistema discontinuo, por lote y batch. Pampillon 2018

Los microorganismos de la fermentación para producir biogás requieren de un medio líquido, no tiene que ser agua potable, por lo que las aguas de la bolsa que se va a vaciar para limpieza se reciclan, conducida por tubos de circulación interna, sin estar expuestas al aire, evitando oxigenar el medio, pasan la bolsa de llenado nuevo, incrementando el volumen controlado de retención de ese día y aportando inóculos microbianos ya adaptados por selección natural del proceso establecido.

Después de 5 días de fermentación inicial quedan por digerirse y contribuir a su aporte energético las partes del grano no digeridas de celulosa. Por ello cada biorreactor debe recibir en codigestión excrementos de corrales de engorda y establos lecheros o desde el rastro de bovinos utilizar los residuos estomacales con bacterias vivas del rumen,

introducirlos dentro de cada cámara de fermentación. A falta de este insumo natural se pueden incorporar como inóculo bacterias vivas cultivadas de *Clostridium cellulovoma* que sintetiza enzimas en condición anaerobia, *Ruminococcus*, *Fibribacter*, *Eacillus*, Protozoos, Hongos o aplicar directamente un conjunto de enzimas celulosomas, endoxilanasas y poligalacturonasas que hidrolizan la celulosa. Castillo 2011.

Al separar excrementos fermentados de la materia líquida de la bolsa en proceso de limpieza, la materia orgánica rica en fibras de celulosa se reutiliza nuevamente para la cría de insectos comestibles para producir proteína con calidad alimenticia para la granja, en sustitución de otras fuentes de alto costo de adquisición. Al concluir el ciclo biológico, durante la cosecha de los insectos, los desechos se utilizan como abono orgánico para la agricultura, generando economías en la mejora de la retención del agua de riego en el suelo agrícola. Alternativas para mejorar la eficiencia integral de producción de gas CH₄ alargando el tiempo de recarga orgánica como de oxígeno y valorar el aprovechamiento reciclable de sedimentos sólidos, economía circular de energía calórica y eléctrica, con el objeto de disminuir la contaminación e incrementar la rentabilidad de la empresa.

Los líquidos excedentes de la fermentación contienen nutrientes adecuados para su concentración de NPK como fertilizantes y para el cultivo de espirulina, algas o aplicar los líquidos al riego agrícola. Cada sistema tiene su propio diseño de ingeniería biológica para su funcionamiento. Tecnología disponible para grandes capacidades de producción. Analizar y diseñar el modelo de batería para lograr una mayor conversión de sólidos orgánicos a la producción de gas metano, para incidir en mayor cuantía a la reducción de contaminantes del vertedor de salida de aguas negras de la granja.

Se establece una biorefinería de subproductos para valorizar por sistema de conducción controlada en cada fase, un esquema de bioeconomía circular como recurso energético a los subproductos líquidos para obtener biofertilizantes de las aguas de desecho, así como reutilizando el agua de limpieza reciclada y empleando los sólidos húmedos para la producción de proteína de insectos comestibles para posteriormente ir incorporando las compostas deshidratadas y abonos húmedos a las tierras agrícolas para incrementar la materia orgánica del suelo y capacidad de retención del agua de riego, al mejorar las propiedades porosas del suelo. En su conjunto estratégico reducir la huella ambiental de carbono de la granja porcina, reducir malos olores y generar ahorros e ingresos para amortizar las inversiones, con la posibilidad de gestionar créditos de carbono en el mercado internacional.

Secar en invernaderos ventilados con calor las excretas para ser ensacadas como abono de plantas y mejorador de suelos en la agricultura comercial.

REVISIÓN LITERARIA

Un estudio nacional de FIRCO 2009 constata la instalación de 345 biodigestores en 11 estados, en su mayoría para granjas y pocas en establos. Posteriormente un seguimiento de campo FIRCO 2013 reporta para 13 estados la construcción de 138 biodigestores en las que sobresalen Yucatán con 41 y Jalisco con 21, para Sonora solo 2, la Comarca

Lagunera 39 y muy posiblemente en establos. Durante el programa anual se instalaron 43 motogeneradores de gas metano convertida a electricidad, de las cuales Yucatán echó a andar 32 motores.

Ensayos de codigestión anaeróbica para lagunas de granjas porcinas o lecheras, con cubiertas de plástico, incorporan mezclas de residuos agroindustriales y esquilmos agrícolas para generar biomasa en bioenergía renovable. Plascencia 2014

El biogás se genera por medio de materiales de plantas y animales en un medio de biodigestión. Puede ser quemado para reducir las emisiones de contaminantes del aire o ser combustible para un generador eléctrico adaptado a este gas. Su tamaño varía para hacer funcionar una hornilla de cocina hasta motores de barco Prehn 2010

La relación de la biomasa y su contenido de nitrógeno no favorece a las excretas porcinas por tener una relación inferior carbono:nitrógeno de 8C:1N Weber 2023.

Las tecnologías alternativas existentes indican que la economía circular de los desechos producidos en la granja, sea agua, excrementos, animales muertos y otros se deben incorporar para su reciclaje de líquidos para limpieza de corrales, generación de energía calórica o eléctrica que permita la reducción de los costos de producción, al ahorro de un ingreso con la venta de composta de animales desechados.

El procesamiento y aprovechamiento eficiente de la materia orgánica que se elimina de las unidades productivas, reduce significativamente las aportaciones de contaminantes que se desechan al ambiente. Cada granja sitio 1 de reproductoras, sitio 2 con lechones en desarrollo y sitio 3 engordando cerdos para matanza. Por su edad fisiológica reciben diferentes dietas formuladas para satisfacer sus requerimientos nutricionales, la digestibilidad del alimento difiere en cada sitio, como los insumos estacionales regionales, nacionales e importados que se incluyen en la formulación.

Así que el potencial de producir gas metano eficientemente de manera renovable, varía para cada sitio de granja porcina, como de la calidad y cantidad del agua para beber y lavar los corrales, formando parte del medio de cultivo microbiano. Los minerales de la dieta contribuyen también a los solutos que darán el pH del medio acuoso de la laguna de digestión.

Para ampliar información actualizada consultar los artículos Producción de gas metano en una granja porcícola y próximamente Tecnologías para producir biogás con un biorreactor en granja porcícola.

BIBLIOGRAFÍA O LITERATURA CITADA

Castillo Vázquez Nidia Paola 2011. Caracterización de bacterias degradadoras de celulosa y almidón.

<https://smbb.mx/congresos%20smbb/queretaro11/TRABAJOS/trabajos/IX/carteles/CIX-04.pdf>

FIRCO 2009 Diagnóstico general de la situación actual de los sistemas de biodigestión en México

<https://ecotec.unam.mx/wp-content/uploads/Diagnostico-Nacional-de-los-Sistemas-de-Biodigestion.pdf>

Ganadería del estado de Sonora 2024.

<https://www.sonora.gob.mx/datos/ganaderia>

INECC 2021. Estimación de costos y beneficios asociados a la implementación de acciones de mitigación para el cumplimiento de los objetivos de reducción de emisiones comprometidos en el Acuerdo de París. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC)

Méndez L. Jaciel R. 2015 Sonora en las redes globales de suministro de carne de puerco a Japón, 1990-2012. Tesis del posgrado en integración económica.

<https://integracioneconomica.unison.mx/wp-content/uploads/2019/01/Jaciel-Mendez-Sonora-en-la-redes-globales-de-suministro-de-carne-de-puerco-a-Japon.pdf>

ONU 2021. Naciones Unidas. Reducir las emisiones de metano un 45% en 10 años es factible y crucial para frenar el cambio climático.

<https://news.un.org/es/story/2021/05/1491742>

Pampillon G. Liliana 2018 Producción de biogás: Fundamentos y parámetros de diseño.

<https://pcientificas.ujat.mx/index.php/pcientificas/catalog/book/191>

Pérez E. Rosario H. 2018 Estrategias de mitigación. El programa de biodigestores en Yucatán, México

https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-57662018000200235

Plascencia R. Cinthia E. 2014 Estudio de codigestión de residuos orgánicos agroindustriales para la producción y uso de biogás. CIDETEQ

<https://cideteq.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1021/331/1/Estudio%20de%20codigesti%C3%B3n%20de%20residuos%20org%C3%A1nicos%20agroindustriales%20para%20la%20producci%C3%B3n%20y%20uso%20de%20bi%C3%B3gas.pdf>

Prehn Manuela 2010 La bionergía en México: Estudios de caso No.1 Red mexicana de bioenergía AC

<https://rembio.org.mx/wp-content/uploads/2023/05/CT1.pdf>

Vidal Amaro Juan J. 2017 A transition strategy from fossil fuels to renewable energy sources in the mexican electricity system.

Weber Bernad 2023 Producción de biogás en México. Estado actual y perspectiva. Red mexicana de bioenergía AC.

<https://rembio.org.mx/wp-content/uploads/2023/05/CT5.pdf>

https://isbnmexico.indautor.cerlalc.org/catalogo.php?mode=busqueda_menu&id_autor=96835

https://www.academia.edu/18081675/Tratamiento_de_la_fracci%C3%B3n_I%C3%ADquida_de_purines_de_cerdo_mediante_un_reactor_discontinuo_secuencial_SBR_

<https://www.sciencedirect.com/search?q=SWINE%20METHANE&years=2024&lastSelectedFacet=years>