

PUESTA EN MARCHA DE REACTOR BIOLÓGICO
ANAEROBIO PARA TRATAMIENTO DE EFLUENTES DE
GRANJAS



Trabajo Final de Máster

Autor:

Jonathan Josue Cuevas

Directores:

Dr. José Antonio Mendoza

Dra. María Isabel Iborra Clar

Valencia, Septiembre 2015

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar a Dios, porque gracias a Él he llegado a feliz término, por darme la fuerza para llegar a la meta.

A mi Esposa Olga Lidia Dipre Cadete, por darme su apoyo en todo momento, por mantenerme motivado durante toda mi trayectoria de estudio, por ayudarme en todo momento.

A mi hijo Isaac Josue Cuevas Dipre, por ser el motor que me ha impulsado a esforzarme cada días más desde el primer día de su llegada.

A la Universidad Politécnica de Valencia, por ser la fuente de mis conocimientos, por ofrecerme una forma diferente de mirar y afrontar la vida, por hoy darme la oportunidad de llegar a ser su egresado.

Al personal docente encargado de ser nuestros guías y llevarme de la mano en el camino hacia nuestra meta, el éxito profesional.

A mis directores José Antonio Mendoza Roca y María Isabel Iborra Clar, por ayudarme y ser parte fundamental de este proyecto, por dedicarme su tiempo y atención, y por su gran apoyo.

A María José Luja, por estar siempre en los ensayos, pendiente de mi investigación y por ayudarme a que hoy esto sea posible.

A mis compañeros, por que juntos es más fácil lidiar con los problemas, por ayudarme a luchar, aun cuando las cosa se tornan difíciles.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	II
ÍNDICE DE CONTENIDO	III
ÍNDICE DE TABLA	V
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VI
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN, OBJETIVOS, JUSTIFICACIÓN Y ESTRUCTURA DE LA TESIS .	7
1.1 INTRODUCCIÓN	7
1.2 OBJETIVOS	10
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	11
1.4 ESTRUCTURA DEL TRABAJO FIN DE MÁSTER	12
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	14
2.1 SECTOR PORCINO	14
2.2 CARACTERÍSTICAS DE PRODUCCIÓN DEL SECTOR PORCINO	16
2.3 PROCESO DE PRODUCCIÓN EN SECTOR PORCINO.....	19
2.4 LEGISLACIÓN VIGENTE EN ESPAÑA	22
2.4.1 LÍMITES ESTABLECIDOS PARA VERTIDO DE AGUA RESIDUAL A LA RED DE ALCANTARILLADO PÚBLICO	23
2.5 CONTAMINACIÓN AMBIENTAL PROVOCADA POR GANADERÍA INTENSIVA	24
2.5.1 EMISIONES A LA ATMÓSFERA	25
2.5.1.1 PROBLEMÁTICA DEL NITRÓGENO	27
2.5.2 EFLUENTES LÍQUIDOS.....	27
2.5.3 CARACTERIZACIÓN DE EFLUENTES DE GRANJAS.....	28
2.5.3.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS PURINES.....	29
2.5.3.2 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL PURÍN.....	29
2.6. TRATAMIENTO ANAEROBIO DE AGUAS RESIDUALES.....	32
2.6.1 DEGRADACIÓN ANAEROBIA DE LA MATERIA ORGÁNICA	33
2.7 DIFERENTES ALTERNATIVAS PARA EL TRATAMIENTO DE EFLUENTES	37
2.7.1 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROCEDENTES DE GRANJAS PORCINAS	38
CAPÍTULO III. DISEÑO REACTOR ANAEROBIO PLANTA PILOTO EN LABORATORIO.....	40
3.1 METODOLOGÍA Y EQUIPOS	40
3.1.1 PLANTA DE LABORATORIO	40
3.2 TÉCNICAS ANALÍTICAS	42
3.2.1 MUESTREO	46

3.2.2 DISEÑOS DEL EXPERIMENTO	47
3.2.3 ENSAYO 1.....	48
3.2.4 VALORACIÓN DE BIOGÁS	48
3.2.4.1 REACTIVOS Y PREPARACIÓN	49
CAPÍTULO IV. RESULTADOS	58
4.1 MONTAJE Y ENSAMBLE DE EQUIPOS	58
4.2 CARACTERÍSTICAS DEL PURÍN A TRATAR.....	59
4.3 CÁLCULOS PREVIOS A LA PUESTA EN MARCHA	61
4.4 PUESTA EN MARCHA DEL REACTOR.....	62
4.4.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.....	63
4.4.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE LA PUESTA EN MARCHA CON FANGO DE EDAR.....	63
4.5 TRATAMIENTO DE PURÍN FRESCO DE GRANJA DE UTIEL	64
CAPÍTULO V. PRE DISEÑO A ESCALA INDUSTRIAL DEL REACTOR PUESTO EN MARCHA EN EL LABORATORIO	73
5.1. CÁLCULOS DE DISEÑO	73
CONCLUSIONES.....	77
BIBLIOGRAFÍA	79
APÉNDICE.....	82

ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1. Mayores Productores de Carne de Cerdo en todo el Mundo (Año 2004). Fuente: Handelsblatt Die Welt in Zahlen (2005).....	15
Tabla 2. Límites establecidos de vertido de agua residual a la red alcantarillado público. Fuente: Modelo de Ordenanza de Vertidos a la Red Municipal de Alcantarillados. Generalitat Valenciana. EPSAR (Entitat de Sanejament d'Aigües). http://www.epsar.gva.es/	23
Tabla 3. Fenómenos Perjudiciales para el Medio Ambiente. Fuente: (BREF 2003).....	26
Tabla 4. Composición General de Purines de Cerdo. Fuente: Taller Demostrativo sobre el Aprovechamiento Energético de Purines en Extremadura, Diciembre, 2010.	30
Tabla 5. Ventajas de LA Digestión Anaerobia. Fuente: (MONCAYO; G.2011).....	36
Tabla 6. Características del Purín a Tratar.....	60
Tabla 7. Valores de fango antes de digerir y después del digestor.....	64
Tabla 8. Producción de biogás.....	65
Tabla 9. Producción de biogás.....	67
Tabla 10. Valores obtenidos de % CO ₂	69
Tabla 11. Valores obtenidos de % CO ₂	69
Tabla 12. Valores de purín antes de digerir y después del digestor.....	70
Tabla 13. Amoniaco del purín inicial y el extraído después del reactor (digerido).....	71
Tabla 14. Resultados generales del tratamiento de Purín.	72
Tabla 15. Características Iniciales del Purín de cerdo de engorde.....	74
Tabla 16. Resultados del Pre diseño.....	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de bloques del Proceso de Producción de las granjas porcinas.	20
Figura 2. Esquema simplificado para sistemas de producción porcina de un sitio. Fuente: Harris, 2004.	21
Figura 3. Diagrama para sistemas de producción porcina Multisitios.	21
Figura 4. Contaminación Medioambiental por cría de ganado intensivo. Fuente: Guía de MTDs del sector porcino.....	24
Figura 5. Definición con ejemplos Visuales de Purín Porcino. Fuente: Taller Demostrativo sobre el Aprovechamiento Energético de Purines en Extremadura, Diciembre, 2010.	29
Figura 6. Factores que Influyen en la Composición del Purín Porcino. Fuente: Taller Demostrativo sobre el Aprovechamiento Energético de Purines en Extremadura, Diciembre, 2010.	31
Figura 7. Diagrama Degradación Biológica de la Materia Orgánica. Fuente: realización propia.....	33
Figura 8. Etapas de la Digestión Anaerobia (Curso tratamiento de Aguas Residuales, 2002. www.fing.edu.uy).	35
Figura 9. Esquema de digestión de sistema de tratamiento anaerobio	39
Figura 10. Esquema de Montaje de Digestor Anaerobio Planta de Laboratorio	41
Figura 11. Foto Sistema de Planta de Laboratorio	42
Figura 13. Imagen de Muestras de Purín.	47
Figura 14. Diagrama de Equipos Planta Piloto	62
Producción de Biogás	66
Figura 15. Gráfico producción de biogás, tiempo y volumen generado.	66
Figura 16. Gráfico producción de biogás, tiempo y volumen generado.	68

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN, OBJETIVOS, JUSTIFICACIÓN Y ESTRUCTURA DE LA TESIS

1.1 INTRODUCCIÓN

El sector pecuario es uno de los principales proveedores de alimentos para los humanos, se ha convertido en una fuente importante de producción, empleo y provisión de materias primas, tanto a pequeña como a gran escala, llegando hasta grande niveles industriales.

En todo los países a nivel mundial la ganadería es considerada como uno de los sectores más importantes, ya que no solo se ha convertido en uno de los pilares de la economía, sino que también los productos que resultan de la explotación ganadera son necesarios para las industrias que extraen sus materias primas de este sector, así como también para el consumidor final.

Según informe de la FAO¹, “la producción mundial de carne se estima en unos 229 millones de toneladas. De seguir el ritmo de consumo actual, esta cifra se verá duplicada a 465 millones de toneladas en 2050, mientras que los lácteos subirán desde los 580 a las 1043 millones de toneladas en el mismo periodo”.

Con el tiempo la explotación ganadera ha desarrollado un gran crecimiento y también se ha ido industrializando. A su vez esta modernización ha traído consigo más problemas para el medio ambiente, que es quien está pagando las consecuencias de la gran explotación llevada a cabo los últimos años.

España con más de 25 millones de cabezas posee el 20% de la cabaña de la U.E. El sector porcino es de gran importancia económica, con una facturación que supera los 3.600 millones de euros.

¹ Steinfeld, H.; P. Gerber; T. Wassenaar; V. Castel; M. Rosales; C. de Haan. 2006. Livestock's long shadow. Informe Food and Agriculture Organization. FAO.

La cabaña porcina genera unos 50 millones de m³ de purines cada año, muchos de los cuales se pueden aprovechar en la agricultura como fertilizante, pero más del 30% se producen en zonas que no disponen de terrenos agrícolas próximos o éstos no pueden aceptarlos; siendo, por tanto, excedentes.

Los malos olores y la emisión de gases de efecto invernadero son problemáticas conocidas en la gestión habitual de los purines. Además, el vertido de los purines excedentes da origen a graves contaminaciones del suelo, de las aguas superficiales y subálveas, provocando graves problemas ambientales en las zonas de alta concentración ganadera.

Los problemas ambientales derivados de los purines han dado origen a diversas normativas que exigen el tratamiento de los mismos, en especial en el caso de los excedentes, bien en la propia granja o en plantas centralizadas.

La producción ganadera intensiva puede conllevar una serie de efectos perjudiciales para el medio ambiente. En zonas con alta concentración de ganado, la contaminación de suelos y su impacto ambiental es una seria preocupación que en los últimos años ha sido recogida por la atención pública y materia de numerosa legislación. Los aspectos medioambientales pueden tener un papel muy relevante en la aceptación pública, ubicación, crecimiento y productividad económica de la producción animal.

Al tratar las aguas residuales procedentes de la ganadería, llevando a cabo un tratamiento biológico como es el caso en este Trabajo Fin de Máster, diseñando un sistema de tratamiento mediante un reactor anaerobio, con el fin de recuperar el metano o gas de efecto invernadero resultante de la biodigestión, no solo se minimiza el impacto ambiental, sino que también se gana energía, la cual puede ser utilizada en la misma granja, reduciendo los coste de energía, o puede ser comercializada a otras industrias.

Debido a la contaminación ambiental antes mencionada, en este Trabajo Fin de Máster, se busca diseñar, un sistema anaerobio para el tratamiento de purines, estudiando la biometanización generada a través del purín por la eliminación de DQO, midiendo el volumen del gas que se genera.

Para este estudio conoceremos el proceso de producción llevado a cabo en las granjas porcinas, las características de los efluentes de granjas, las leyes vigentes para estos residuos de granjas porcinas, las características de los purines, las características del sistema anaerobio de tratamiento de aguas residuales, el montaje y la puesta en marcha de un reactor a nivel de laboratorio, y el diseño de un reactor anaerobio para el tratamiento de aguas residuales de las granjas porcinas.

1.2 OBJETIVOS

El presente Trabajo Fin de Máster posee los siguientes objetivos:

- Estudiar la problemática de los efluentes generados en granjas del sector porcino.
- Realizar el montaje y poner en marcha un reactor anaerobio de laboratorio para el tratamiento de dichos efluentes.
- Estudiar la biometanización generada a través del purín por la eliminación de DQO, midiendo el volumen del gas que se genera.
- Realizar un pre-diseño, a partir de los datos experimentales obtenidos, de un reactor a mayor escala.

1.3 JUSTIFICACIÓN

Debido a la problemática que presentan las aguas residuales generadas en las granjas porcinas, se hace necesario realizar estudios en busca de posibles soluciones a esta fuente de contaminación.

La concentración de granjas porcinas industriales en varias zonas de España está ocasionando, entre otros problemas, una grave contaminación por nitratos de los suelos y las aguas subterráneas. Existen alternativas de tratamiento de los purines y de gestión de las granjas que podrían mejorar mucho esta preocupante situación.

Las granjas porcinas generan contaminación de diferentes formas como son: Contaminación difusa de aguas subterráneas por nitratos, ligada a las prácticas agrícolas incorrectas; eutrofización de aguas superficiales; acidificación producida por amoníaco; contribución al efecto invernadero producido por metano; óxido nitroso y en menor medida dióxido de carbono; problemas locales por el olor, el ruido y el polvo

Los principales efectos medioambientales ligados a las explotaciones ganaderas intensivas están relacionados con la producción de estiércoles y purines, debido a que, si bien son productos que inicialmente no contienen compuestos de alto riesgo medioambiental, la producción y acumulación de los mismos en grandes volúmenes puede plantear problemas de gestión. Ahora bien, conviene precisar que el hecho de que el estiércol de algunas especies ganaderas, como el porcino intensivo y una elevada proporción del vacuno de leche, sea arrastrado de los establos mediante el uso de agua, esto no quiere decir que afecte sus características agronómicas o medioambientales, razón por la cual se debe considerar como un compuesto orgánico cualquiera.

Por todo lo antes mencionado en este Trabajo Fin de Máster se va a estudiar el tratamiento en un reactor anaerobio de laboratorio, el tratamiento de las aguas residuales generadas en una granja porcina, buscando solucionar parte de esta problemática, permitiendo al final del proceso obtener un agua con un bajo nivel de contaminación y recuperando biogás.

1.4 ESTRUCTURA DEL TRABAJO FIN DE MÁSTER

Este Trabajo Fin de Máster (TFM), se ha organizado realizando varios capítulos para una buena explicación y comprensión del mismo. Inicialmente se presentan los agradecimientos y los índice de contenido, para continuar con el capítulo uno, donde a través de la introducción, objetivos y justificación, se presenta y se detalla brevemente, cual es el objetivo de la investigación y lo que se persigue en este TFM. En el capítulo uno también se presenta esta estructura de tesis, donde se desglosa cada parte que la compone.

El TFM está compuesto por cinco capítulos, como también por conclusiones y una lista de las fuentes bibliográficas consultadas.

Como se dijo anteriormente, en el capítulo uno se hace una breve presentación, dejando ver a groso modo el contenido y el fin de esta investigación. El capítulo dos se compone de un marco teórico, sirviendo como parte fundamental para una buena comprensión del proyecto realizado.

En este capítulo dos se habla de la producción porcina, el impacto ambiental de la misma, las diferentes técnicas de producción en granjas porcinas, los efluentes de granjas, las características de los purines, las leyes vigentes en España para el sector ganadero, y del tratamiento anaerobio como alternativa para tratar las aguas residuales de este sector.

Ya en el capítulo tres, se presenta el proyecto a perseguir, que es el montaje y la puesta en marcha de un sistema anaerobio para el tratamiento de purines, estudiando la biometanización generada a través del purín por la eliminación de DQO, midiendo el volumen del gas que se genera. Se muestra todo lo que se hizo en la planta de laboratorio, en el laboratorio de medio ambiente del Departamento de Ingeniería Química y Nuclear de la Universidad Politécnica de Valencia, metodología, equipos, ensamblaje y montaje de planta piloto, así como los cálculos y las ecuaciones necesarias para el diseño.

En el capítulo cuatro se muestran los resultados de las pruebas y mediciones realizadas. En el capítulo cinco el pre diseño a escala industrial, del reactor anteriormente puesto en marcha en el laboratorio.

Al final de esta investigación hemos llegado a varias conclusiones, las cuales exponemos en ese apartado.

Por último citamos las fuentes bibliográficas consultadas en el apartado de bibliografías. Y se añade un apéndice con fotos y documentos útiles para una mejor comprensión de este TFM.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 SECTOR PORCINO

De acuerdo a datos estadísticos mundiales, la producción porcina es muy importante dentro de la alimentación humana, debido a que aporta más del 39% de la producción mundial de carne para consumo humano, lo que equivale a 15,3 kg de carne por persona y año (FAOSTAT 2004), siendo en su conjunto el sector con mayor presencia dentro de la actividad agropecuaria.

En España el sector porcino representa el 12,4% de la producción final agropecuaria. Dentro de las producciones ganaderas ocupa el primer lugar en cuanto a su importancia económica representando el 34,2 % de la producción final ganadera. Lo que lo convierte en el sector más importante de la ganadería y el que contribuye en mayor medida en la renta de los ganaderos de este país.

A nivel mundial la UE es el segundo productor de carne de porcino, después de China. Y separados por países, España es la cuarta potencia productora (después de China, EEUU, y Alemania). Por tanto dentro del marco comunitario, España es el segundo país de la UE en cuanto a producción de carne de porcino, con un 17,3% del censo comunitario y un 15,5% de las toneladas producidas²

En el último año, la evolución del sector porcino ha estado unida a la entrada en vigor de la normativa en relación al bienestar animal de los cerdos, fundamentalmente por la exigencia de mantener las cerdas en grupo durante un periodo de su gestación.

Gracias a un importante esfuerzo entre las distintas administraciones y sobre todo por el esfuerzo económico y técnico del sector productor, ha sido posible la total adaptación en España.


















² Sistema de Gestión Estadística (SGE); Agencia Estatal de Administración Tributaria (AEAT); Instituto Nacional de Estadística (INE), datos 2011.

El sector porcino en España se caracteriza principalmente por su elevado nivel de autoabastecimiento 154% en 2012, lo que convierte a la exportación en un elemento clave para el equilibrio del mercado³.

Con una balanza comercial muy positiva España se ha consolidado como tercer mayor exportador de porcino de la UE, sólo por detrás de Alemania y Dinamarca. En el contexto internacional, la UE es la principal potencia exportadora (en torno al 37% de las exportaciones mundiales).

Como mencionamos anteriormente, el país mayor productor de carne de cerdo en todo el mundo es China, seguido de Estados Unidos y Alemania. Otros países productores en Europa son España, Francia, Polonia y Dinamarca, como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Mayores Productores de Carne de Cerdo en todo el Mundo (Año 2004). Fuente: Handelsblatt Die Welt in Zahlen (2005).

Rango	País	Producción (Kt)	Rango	País	Producción (Kt)
1	 China	47.753	10	 Rusia	1.750
2	 Estados Unidos	9.332	11	 Vietnam	1.700
3	 Alemania	4.366	12	 Italia	1.618
4	 España	3.335	13	 Filipinas	1.400
5	 Brasil	3.110	14	 Japón	1.255
6	 Francia	2.290	15	 Países Bajos	1.245
7	 Polonia	2.100	16	 Corea del Sur	1.100
8	 Canadá	1.970	17	 México	1.100
9	 Dinamarca	1.762	18	 Bélgica	1.050

³ Sistema de Gestión Estadística (SGE); Agencia Estatal de Administración Tributaria (AEAT); Instituto Nacional de Estadística (INE), datos 2011.

2.2 CARACTERÍSTICAS DE PRODUCCIÓN DEL SECTOR PORCINO

Existen leyes y procedimientos que rigen los distintos sectores de producción en este país, y el sector porcino no está exento de dichas leyes y procedimientos, es por esto que se hace necesario conocer las Mejores Técnicas Disponibles MTDs.

Las MTDs, son aquellas técnicas o procedimientos que han demostrado a escala real e industrial su eficacia medioambiental en la reducción de emisiones contaminantes y en el consumo de recursos en condiciones económicas y técnicamente viables. Estas leyes y técnicas abarcan lo que es todo el proceso productivo, refiriéndose algunas al diseño de las construcciones, sobre todo a los canales que recogen el agua de bebida y limpieza, y las deyecciones líquidas y sólidas. La finalidad de las MTDs es evitar, prevenir y si se hace necesario, reducir el impacto al medio ambiente que nos rodea. Por ello expone y explica técnicas que se consideran económicamente viables a la hora de producir y medioambientalmente eficaces, previniendo daños importantes al medioambiente y a los humanos.

En España se realizan crías intensivas de ganado porcino. Dicha tarea incluye la gestión y el manejo de varias fases de producción con diferentes tipos de animales y necesidades. Este proceso de producción se puede realizar en lo que se conoce como ciclo cerrado, lo cual significa, desarrollar todo el proceso de producción en una misma instalación. Además de esta forma de producción, también existen otros sistemas que se aplican, en donde las distintas fases o etapas de producción están por separado, es decir que, la etapa de reproducción, transición y cebo están ubicadas en lugares diferentes. Partiendo de un colectivo de hembras reproductoras se obtienen los lechones que son criados y cebados hasta alcanzar el peso de sacrificio, habitualmente 100 kg.

Cada industria ganadera o granja porcina en funcionamiento, debe contar con instalaciones y alojamientos necesarios según el tipo de animal que produce, considerando la etapa productiva y fisiológica en la que se encuentra. En una granja tipo de ciclo cerrado se establecen las siguientes áreas:

- **Área de gestación**, para el alojamiento de cerdas durante la fase de gestación que en el ganado porcino tiene una duración de 114 días. A su vez esta área puede incluir dos zonas diferenciadas:

-**Área de cubrición**, donde se estimula la salida a celo de las cerdas reproductoras y se efectúa la cubrición o inseminación artificial.

-**Área de gestación confirmada**, donde la cerda pasa el resto de la gestación, hasta una semana antes del parto (107 días post cubrición), momento en el que la cerda se traslada al área de maternidad.

En el área de gestación, normalmente las cerdas están siempre en jaulas individuales. La nueva Normativa de bienestar animal, de aplicación para las explotaciones existentes a partir del 1 de enero de 2013, restringe esta posibilidad. De acuerdo con el Real Decreto 1135/2002, las cerdas podrán permanecer como máximo en jaulas durante los primeros 28 días de post-cubrición, debiendo permanecer el resto del tiempo alojadas en grupos de cerdas sueltas.

El suelo suele ser completamente enrejillado con una pequeña parte de suelo continuo coincidiendo con la mitad anterior de la camisa, (las camisas son jaulas de tubo metálico) donde se encuentra la cerda.

- **Área de maternidad**, para cerdas lactantes. Las reproductoras, cuando están a término de gestación, se trasladan desde el área de gestación hasta las salas de maternidad donde tendrá lugar el parto. Las cerdas, junto con su descendencia, permanecen en estas salas hasta el momento del destete (21-28 días después de la fecha del parto). El destete consiste en la separación de los lechones de sus madres. Los lechones pasarán al área de transición para continuar su etapa de crecimiento y cría. Las reproductoras destetadas retornan al área de cubrición para estimular su salida a celo, que ocurre en condiciones normales a los cuatro o cinco días post destete, y así comenzar un nuevo ciclo productivo.

En el área de maternidad las reproductoras siempre se encuentran confinadas en jaulas especiales para proteger al lechón. Éste suele contar con una fuente de calor extra (foco o suelo radiante). El suelo en estos alojamientos es completamente enrejillado salvo un área pequeña para el descanso de los lechones.

- **Área de transición** para lechones en fase de transición. En esta zona se alojan los lechones en grupos desde el momento del destete (entre 21 y 28 días de vida y un peso de 6-8 kg) hasta el paso al área de cebo (60-80 días de vida y 20-30 kg de peso). Debido a las necesidades del lechón en esta fase tan crítica, las instalaciones, el manejo y la nutrición están especialmente cuidadas. En esta fase los lechones suelen consumir 2 tipos diferentes de pienso, formulados con materias primas de excelente calidad y elevada digestibilidad. Es muy frecuente que los lechones dispongan de una fuente de calor durante los primeros días de estancia (foco o suelo radiante). El suelo en estos alojamientos suele ser completamente enrejillado con rejillas metálicas o de plástico que favorece la limpieza y el confort de los animales.
- **Área de cebo** para cerdos en fase de cebo. En este área se alojan los animales en grupos para su cebo, desde que son trasladados del área de transición hasta que alcanzan el peso de sacrificio, momento en que abandonan la instalación con destino al matadero. En esta fase se suele administrar un único pienso. El suelo de los alojamientos de cebo suele ser completamente enrejillado con rejillas de cemento. La ventilación puede ser natural o forzada con control de temperatura.

Los animales producidos alcanzan el peso a sacrificio (100 kg como peso más habitual en España) con una edad entre los 170 y 190 días de vida. Las cerdas reproductoras normalmente completan entre 2 y 2,4 ciclos reproductivos al año (cubrición, gestación, parto, lactación). La vida útil (productiva) de las cerdas se estima entre 2 y 3 años (7 partos). Las cerdas reproductoras se envían a matadero cuando alcanzan esta edad o bien cuando sus parámetros productivos no se consideran adecuados. El efectivo reproductor se compensa con la entrada al ciclo de nuevos animales jóvenes llamados de reposición.

En las granjas existe un área específica para alojar a las cerdas de renovación. En esta zona los nuevos reproductores se adaptan sanitariamente a la granja antes de ser cubiertos por primera vez.

En todas las fases, el purín suele almacenarse en fosos ubicados bajo las rejillas cuya capacidad es variable. Normalmente es suficiente para cubrir todo el periodo de estancia de los animales en los alojamientos para lactación y transición. En el caso de las cerdas gestantes y cerdos en fase de cebo los fosos suelen vaciarse periódicamente. El almacenamiento exterior se efectúa habitualmente en fosas o balsas de capacidad variable, normalmente superior a los tres meses, que no suelen estar cubiertas. Finalmente, en la mayoría de los casos, se produce una aplicación agronómica del purín y del estiércol.

Según el tipo de explotación de que se trate, las etapas del proceso productivo general descrito anteriormente pueden llevarse a cabo en su totalidad o bien sólo en parte. Para cada instalación concreta se deberán considerar sólo las etapas del proceso que se desarrollen en la misma.

2.3 PROCESO DE PRODUCCIÓN EN SECTOR PORCINO

El proceso de producción del sector porcino se puede realizar en una o varias fases o etapas. Tomando en cuenta las leyes y reglamentos establecidos en este país y las diferentes técnicas de producción, en su mayoría resumidas en la MTDs, para el sector porcino, podemos caracterizar dicho sector en las siguientes etapas o fases de producción:

- **Fase de Producción:** Tiene como fin la explotación de reproductoras y verracos para obtener lechones destetados, es decir, se trata de la granja de reproductoras donde se realiza la gestación, los partos y la lactación. Los lechones se destetan (generalmente a los 18-24 días), y pasan a la siguiente fase.
- **Fase de Destete:** o fase producción orientada a criar los lechones destetados en la etapa anterior. Esta fase de transición maneja los cerdos recibidos de la fase previa, hasta situarles en pesos de 20-30 kg.

- **Fase de Cebo:** esta se asocia con el cebo de los cerdos hasta su peso de sacrificio de 95-105 kg, es decir que después del destete, se engorda el cerdo hasta un peso medio de 95-105 kilogramos.

En el diagrama de la figura 1 se muestran las etapas del proceso de producción en una granja porcina.

Diagrama de Proceso de Producción en granjas porcina.

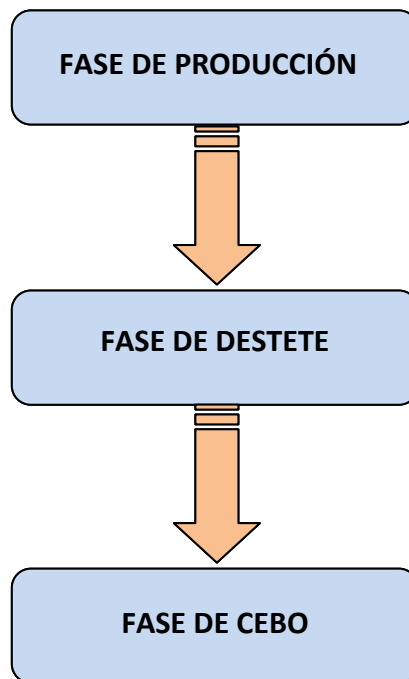


Figura 1. Diagrama de bloques del Proceso de Producción de las granjas porcinas.

El término sitio utilizado en este proceso de producción porcina, indica cómo se distribuyen las diferentes fases de producción. Los cerdos pueden ser criados en una o varias ubicaciones dentro de un sitio; las ubicaciones refieren el número de localizaciones geográficas para cada fase de producción en cada sitio; puede haber uno o más pabellones en cada ubicación (Fuente: Harris, 2004).

En la figura 2 se muestra la Producción en un Sitio. Fases de Producción 1, 2 y 3 están en un sitio.

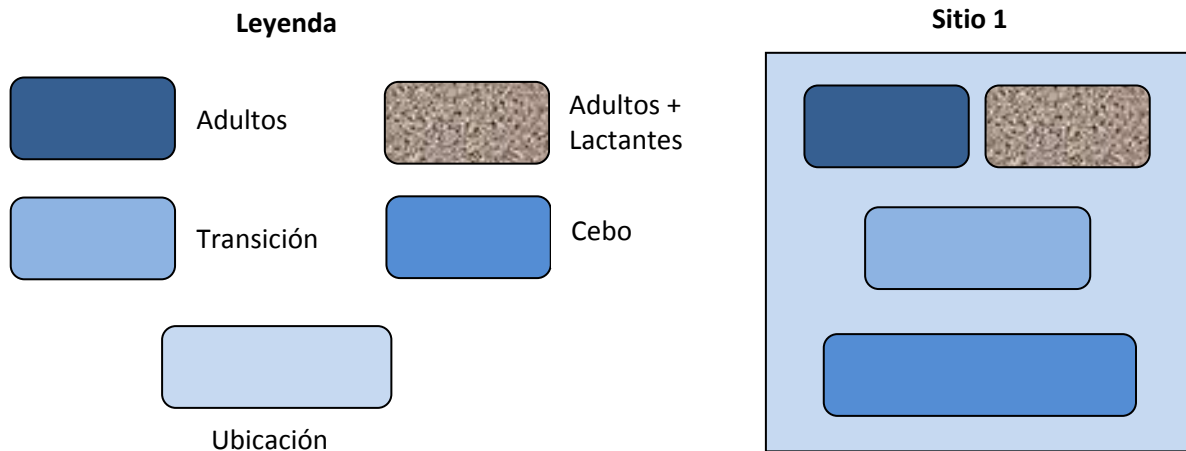


Figura 2. Esquema simplificado para sistemas de producción porcina de un sitio. Fuente: Harris, 2004.

Existen también procesos de producción multisitios. Así las granjas modernas están diseñadas bajo el principio de producción de tres sitios (multisitios).

Estos sitios en su conjunto conforma toda la estructura de la granja sin embargo deberán estar separados entre sí, la distancia de separación dependerá de la disponibilidad de área que se tenga pero como mínimo se recomienda 1 kilometro ideal hasta 5 kilómetros entre un sitio y el siguiente.

Producción Multisitios. Fases de Producción 1, 2 y 3 están en sitios diferentes.

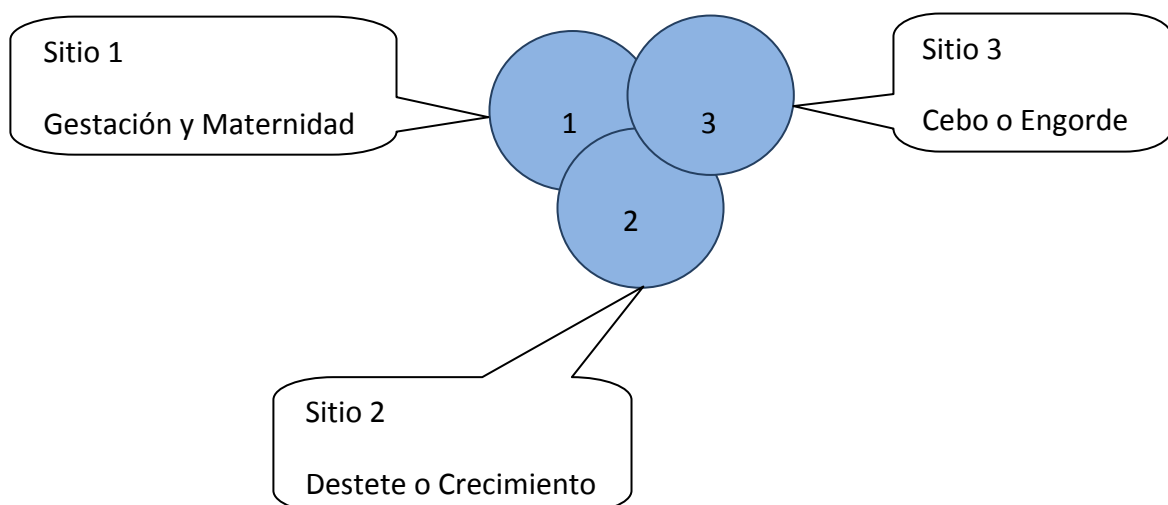


Figura 3. Diagrama para sistemas de producción porcina Multisitios.

2.4 LEGISLACIÓN VIGENTE EN ESPAÑA

La legislación para el sector porcino en España se encuentra resumida en El Real Decreto 324/2000, de 3 de marzo.

Este Real Decreto establece las normas básicas de ordenación de las explotaciones porcinas, recoge una serie de exigencias en materia de utilización de estiércoles y constituye los procedimientos para su gestión, con el fin de evitar o en caso contrario reducir el impacto ambiental y ofrecer suficientes garantías medioambientales. Dentro de este contexto se hace fundamental favorecer el desarrollo de sistemas de gestión conjuntos que ofrezcan soluciones innovadoras a los actuales problemas de eliminación de los purines de las explotaciones porcinas, facilitando su valorización para diferentes usos.

En noviembre de 2000 se constituye la Asociación de Empresas para el Desimpacto de los Purines (ADAP), que integra a empresas que dedican parte de su actividad a la solución de los problemas ambientales creados por los purines, mediante la instalación de plantas de tratamiento, contribuyendo además al apoyo del sector ganadero. Sus objetivos eran defender los intereses de los asociados, aportar soluciones técnicas adecuadas para dar una respuesta ambientalmente correcta al problema de los purines y ayudar a los promotores en el desarrollo de los proyectos, y unir esfuerzos a favor de la sostenibilidad del sector porcino. A partir del Real Decreto 2828/1998, por el que el Gobierno incluyó la aplicación de la cogeneración para el tratamiento de purines y su inclusión en el régimen especial eléctrico (Espejo, 2005), se desarrollaron diversas tecnologías españolas y se construyeron plantas bajo ese modelo. Fruto de su esfuerzo tecnológico y empresarial, los socios de la ADAP disponen de 27 plantas que incorporan la cogeneración y dan servicio a cientos de explotaciones ganaderas con más de un millón de cabezas de porcino.

Estas plantas contribuyeron al progreso del medio rural y solucionan el problema ambiental de los purines de una forma eficiente y económicamente viable para el sector ganadero.

El Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino estableció una serie de medidas con el objetivo común de reducir las emisiones de contaminantes. El Real Decreto 987/2008, de 23 de junio, tenía como objetivo establecer las bases reguladoras para la concesión, en régimen de concurrencia competitiva, de subvenciones para promover el desarrollo de sistemas innovadores de gestión de purines procedentes de las explotaciones porcinas, respetuosos y compatibles con la protección del medio ambiente, que eviten consumos ineficientes de energía y que contemplen un enfoque integral de la valorización y desarrollo de mejoras técnicas disponibles en la aplicación de purines al campo. El desarrollo de estos propósitos se podría conseguir gracias a la aplicación de dos políticas principales:

- La implantación de programas de gestión que impliquen la reducción del uso de fertilizantes minerales, mediante la aplicación de nuevas técnicas que permitan la incorporación adecuada de purines al suelo, disminuyendo su contaminación.
- El desarrollo de otras alternativas innovadoras en la gestión de purines procedentes de explotaciones porcinas, incluidos proyectos pilotos o proyectos de demostración de escala razonablemente reducida.

2.4.1 LÍMITES ESTABLECIDOS PARA VERTIDO DE AGUA RESIDUAL A LA RED DE ALCANTARILLADO PÚBLICO

Tabla 2. Límites establecidos de vertido de agua residual a la red alcantarillado público. Fuente: Modelo de Ordenanza de Vertidos a la Red Municipal de Alcantarillados. Generalitat Valenciana. EPSAR (Entitat de Sanejament d'Aigües). <http://www.epsar.gva.es/>

ELEMENTOS	LIMITACIÓN
DQO	1500 mg/l
Sólidos en suspensión	1000 mg/l
Nitrógeno Amoniacal	85 mg/l
Nitrógeno nítrico	65 mg/l
Conductividad	5000 μ s/cm

La tabla 2, muestra los límites permitidos por la legislación española para vertidos a la red de alcantarillados de aguas residuales.

2.5 CONTAMINACIÓN AMBIENTAL PROVOCADA POR GANADERÍA INTENSIVA

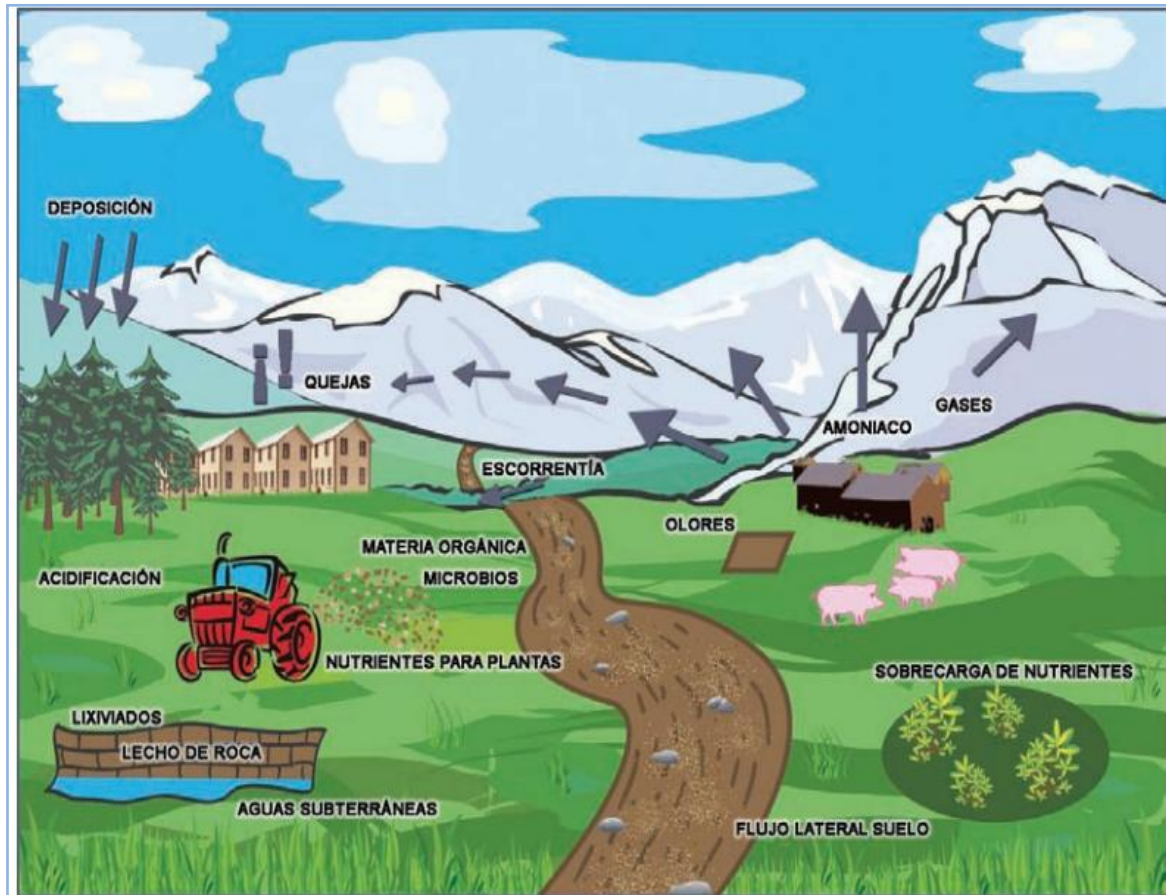


Figura 4. Contaminación Medioambiental por cría de ganado intensivo. Fuente: Guía de MTDs del sector porcino.

El manejo de ganado y terrenos de pastoreo es una actividad muy extendida en el ámbito de las actividades agropecuarias, las cuales implican una serie de operaciones que, como casi todas las actividades humanas, producen impactos ambientales.

Cuando se inicia el análisis de los proyectos o aspectos de desarrollo de la ganadería cuyo objetivo es mejorar las condiciones y productividad de los terrenos de pastoreo, la salud y productividad del ganado (incluyendo el ganado vacuno, ovejas, cabras, búfalos, bueyes y porcinos) para carne, leche, pieles, y fibra y el bienestar de los pastores, no se pueden olvidar los posibles impactos al medioambiente, para prevenir y mitigar sus efectos.

En la figura 4 tenemos un ejemplo del impacto ambiental generado por la ganadería, donde vemos los diferentes tipos de contaminación, al agua, al aire y al suelo.

2.5.1 EMISIONES A LA ATMÓSFERA

La ganadería genera más emisiones de dióxido de carbono que la industria del transporte. El reporte de la FAO "Livestock Long Shadow" del año 2006 señala además que la ganadería no sólo contamina el aire, sino también la tierra y los depósitos de agua subterránea. Con la mayor prosperidad y la asunción de valores occidentales en todo el mundo, las personas consumen más carne y más lácteos que nunca en la historia. Por esto, la ganadería requiere de urgentes medidas para frenar las emisiones de CO₂ al medio ambiente, y el informe de la FAO aconseja algunas medidas técnicas que perpetuarán el problema, de no cambiar la población algunos hábitos de consumo⁴.

La ganadería es el sector agrícola de mayor crecimiento. Pero el costo del crecimiento y el desarrollo e industrialización de la ganadería lo paga el medio ambiente, pues según Christopher Matthews, de la FAO: "los costos medio ambientales por producir una unidad de ganado (un animal) debería ser reducido a la mitad, sólo para evitar el empeoramiento de los niveles actuales de contaminación." ⁵

En el estudio "Livestock Long Shadow" se incluyeron las emisiones por uso de la tierra y cultivos, con los que el sector ganadero produce un 9% del CO₂ derivado de las actividades humanas, pero además genera un porcentaje mucho mayor de otros gases de efecto invernadero: 65% de óxido nitroso, un 37% de toda la producción de gas metano, y un 64% de amoníaco, que contribuye a la acidificación de la lluvia.

⁴ Steinfeld, H.; P. Gerber; T. Wassenaar; V. Castel; M. Rosales; C. de Haan. 2006. Livestock's long shadow. Informe Food and Agriculture Organization. FAO.

⁵ Steinfeld, H.; P. Gerber; T. Wassenaar; V. Castel; M. Rosales; C. de Haan. 2006. Livestock's long shadow. Informe Food and Agriculture Organization. FAO.

Todos estos gases son producto del estiércol, los desechos y los gases intestinales de los animales.⁶

Las emisiones al medio ambiente generadas por una granja de porcino se pueden originar en la propia granja, o bien durante el almacenamiento, tratamiento o aplicación del purín. Pueden ser:

Emisiones directas al suelo, aguas subterráneas y superficiales, básicamente en forma de purín.

Emisiones al aire, en forma de gases, olores, polvo o ruido. Los compuestos emitidos pueden potencialmente contribuir a distintos fenómenos perjudiciales para el medio ambiente, como se muestra en la tabla 3⁷.

Tabla 3. Fenómenos Perjudiciales para el Medio Ambiente. Fuente: (BREF 2003).

Fenómenos	Compuestos
Eutrofización	Nitrógeno (N), Fósforo (P)
Acidificación	Amoniaco (NH ₃), Óxidos de N (NO _x),
Aumento del efecto invernadero	Dióxido de Carbono (CO ₂), Metano Compuestos con azufre (S) (CH ₄), Óxidos de N (N ₂ O)
Reducción de la capa de ozono	Bromometano (CH ₃ Br)
Desecación por uso de aguas subterráneas	
Difusión de metales pesados y plaguicidas	
Molestias locales por olor o ruido	

⁶ Steinfeld, H.; P. Gerber; T. Wassenaar; V. Castel; M. Rosales; C. de Haan. 2006. Livestock's long shadow. Informe Food and Agriculture Organization. FAO.

⁷ J. COMA Y J. BONET. 2004. Producción Ganadera y Contaminación Ambiental. Grupo Vall Companys.

2.5.1.1 PROBLEMÁTICA DEL NITRÓGENO

Un cerdo produce al día entre 4 y 7 litros de purín. El purín está formado en un 95% por agua.

Su elevado contenido en nitrógeno y agua hace complicada su utilización como fertilizante sin antes tratarlo, entre otras cosas, por la dificultad del transporte hasta el lugar de aplicación.

El nitrógeno orgánico suele ser bastante constante y sin embargo, bastante variable el contenido de nitrógeno inorgánico. El nitrógeno inorgánico se encuentra especialmente en forma amoniacal y sólo una mínima cantidad como nitritos y nitratos. Este también es responsable de la fertilidad inmediata del purín, ya que se presenta disuelto dentro de la fase líquida del purín, donde puede ser absorbido por las plantas o incorporado en el complejo del cambio del suelo; también constituye el nitrógeno que puede perderse por volatilización o lavado del subsuelo, ya sea de manera amoniacal o transformado en nitratos.

El nitrógeno orgánico se encuentra regularmente en la fase sólida del purín, es el que no puede ser utilizado rápidamente por las plantas, permaneciendo como reserva en el suelo, su disponibilidad depende de la degradación del purín.

2.5.2 EFLUENTES LÍQUIDOS

El potencial contaminante de los efluentes líquidos ganaderos viene determinado por los parámetros: materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio.

Destaca la materia orgánica porque la contaminación, que potencialmente puede producir es extremadamente elevada.

Para determinar y comparar cargas orgánicas contaminantes, los resultados se expresan en base a determinados parámetros globales de medición de la materia orgánica, como son DBO5 y DQO. La DBO5 mide la carga orgánica en función del consumo de oxígeno, por vía biológica en mg/l, a temperatura constante durante cinco días. En cuanto a la DQO, determina el oxígeno consumido, por vía química, por las materias reductoras presentes en el efluente analizado, utilizando el dicromato potásico como agente oxidante.

Por otra parte los residuos ganaderos son portadores de poblaciones microbianas que inciden negativamente en la salud humana y animal, constituyendo un riesgo que debe ser conocido. Se trata de bacterias, virus y hongos.

La problemática medioambiental de la producción ganadera en general y del sector porcino en particular es debida a que:

- La explotación ganadera se ha desligado de la explotación agrícola. Por tanto, en zonas de alta producción intensiva, existen numerosas explotaciones ganaderas sin una base territorial suficiente para reutilizar los purines generados.
- El censo porcino ha aumentado notablemente durante los últimos años, mientras que la superficie agraria útil ha ido disminuyendo por distintos motivos como el crecimiento urbanístico y de infraestructuras o el abandono de tierras marginales.
- La dimensión media de las explotaciones ganaderas ha aumentado notablemente.

2.5.3 CARACTERIZACIÓN DE EFLUENTES DE GRANJAS

Los efluentes de las granjas intensivas de ganado porcino, generalmente denominados purines, están constituidos mayoritariamente por agua, conteniendo alrededor de un 4 a 7% de materia sólida en suspensión y en solución.

Típicamente, la materia sólida contiene un 8-10% de N, 3-5% de P_2O_5 y 6-8% de K_2O , así como un 65% de materia orgánica.

2.5.3.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS PURINES



Figura 5. Definición con ejemplos Visuales de Purín Porcino. Fuente: Taller Demostrativo sobre el Aprovechamiento Energético de Purines en Extremadura, Diciembre, 2010.

Los purines son los estiércoles líquidos del sector porcino, compuestos por deyecciones, aguas de lavado y restos de alimentos. También lo podríamos definir como el residual orgánico generado en las explotaciones ganaderas como resultado de la mezcla de las deyecciones sólidas y líquidas junto con restos de alimentos, agua de los abrevaderos, aguas de lavado y, en ocasiones, agua de lluvia.

En la figura 5, se puede ver con ejemplos gráficos la definición del purín.

2.5.3.2 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL PURÍN

- Es un material no exento de patógenos. (E.coli, Klebsiella, Proteus y Enterobacter).
- Neutro/Básico y de alta alcalinidad.

- Elevado contenido de humedad (MS < 10%).
- Posee cantidades importantes de hidratos de carbono, lípidos, aminoácidos, proteínas, urea y compuestos azufrados.
- Contenidos importantes de nitrógeno y en menor medida fósforo, potasio y calcio.
- Tiene microelementos como hierro, zinc, cobre y manganeso.

Tabla 4. Composición General de Purines de Cerdo. Fuente: Taller Demostrativo sobre el Aprovechamiento Energético de Purines en Extremadura, Diciembre, 2010.

INDICADORES	MÍNIMO	MÁXIMO	MEDIA
Sólidos Totales ST (%)	1,0	17,1	6,1
Sólidos Volátiles SV / ST (%)	45,2	75,0	64,9
SST/ST (%)	28,9	95,6	68,8
SSV/SVT (%)	52,6	98,9	85,9
N – Amoniacal (mg/L)	1.200,0	7.500,2	4.332,2
N – Orgánico (mg/L)	385,4	3.601,3	1.327,8
Demanda Química de Oxígeno DQO (mg/L)	8.200,0	180.100,9	71.591,7
Fósforo P (mg/L)	83,0	6.835,7	1.322,8
Potasio K (mg/L)	1.100,0	8.191,0	4.730,9
Alcalinidad Total (pH = 4,3)	1,5	46,4	18,8
Cobre Cu (mg/L)	4,8	158,5	39,0
Zinc Zn (mg/L)	5,1	115,0	59,7
Ph	6,7	8,6	7,6

Como podemos observar en la tabla 4, se destacan las siguientes características:

- Más del 90% del purín es agua, con una proporción de SST/ST
- Material diluido con Baja Materia Orgánica disuelta, lo que la convierte en fracción mineral valorizada como abono
- Alto Contenido de Nitrógeno, Fosforo y Potasio, asimilable

- Alta DQO
- Alta Alcalinidad
- pH Neutro – Básico
- Contenido Apreciable de Metales
- Variabilidad (según tipo de ganado y de explotación)

El purín de cerdo es un subproducto de la actividad ganadera, con una alta variabilidad en su composición que debe ser gestionado incluso antes de originarse, ya que posee características perjudiciales al medio ambiente, las cuales deben ser tratadas para evitar o en su defecto minimizar el impacto ambiental.

Hay factores que producen variabilidad en el purín, la tabla anterior muestra un rango dentro de los que se encuentran los diferentes purines, dependiendo de los siguientes factores, que podemos ver en la figura 6.



Figura 6. Factores que Influyen en la Composición del Purín Porcino. Fuente: Taller Demostrativo sobre el Aprovechamiento Energético de Purines en Extremadura, Diciembre, 2010.

2.6. TRATAMIENTO ANAEROBIO DE AGUAS RESIDUALES

Dado que ha sido el proceso seleccionado en este TFM, se expone a continuación los principios básicos del tratamiento anaerobio de aguas residuales.

La eliminación de materia orgánica constituye uno de los objetivos del tratamiento de las aguas residuales, utilizando en la mayoría de los casos los procesos biológicos.

El mecanismo más importante para la eliminación de la materia orgánica presente en el agua residual, es el metabolismo bacteriano.

El metabolismo consiste en la utilización por parte de las bacterias, de la materia orgánica como fuente de energía y carbono para generar nueva biomasa. Cuando la materia orgánica es metabolizada, parte de ella es transformada químicamente a productos finales, en un proceso que es acompañado por la liberación de energía llamado "Catabolismo". Otro proceso denominado "Anabolismo ó Síntesis" ocurre simultáneamente, donde parte de la materia orgánica se transforma en nuevo material celular

La digestión anaerobia o biodigestión es un proceso natural por el cual la materia orgánica es descompuesta por bacterias específicas, en ausencia de oxígeno, generando biogás (gas con alto contenido en metano).

También podemos decir que la digestión anaerobia es el proceso fermentativo que ocurre en el tratamiento anaerobio de las aguas residuales. El proceso se caracteriza por la conversión de la materia orgánica a metano y de CO₂, en ausencia de oxígeno y con la interacción de diferentes poblaciones bacterianas. Como se muestra en la figura 7, a continuación se presenta un ejemplo de degradación de la materia orgánica.

Diagrama conversión de la materia orgánica a metano y CO₂.

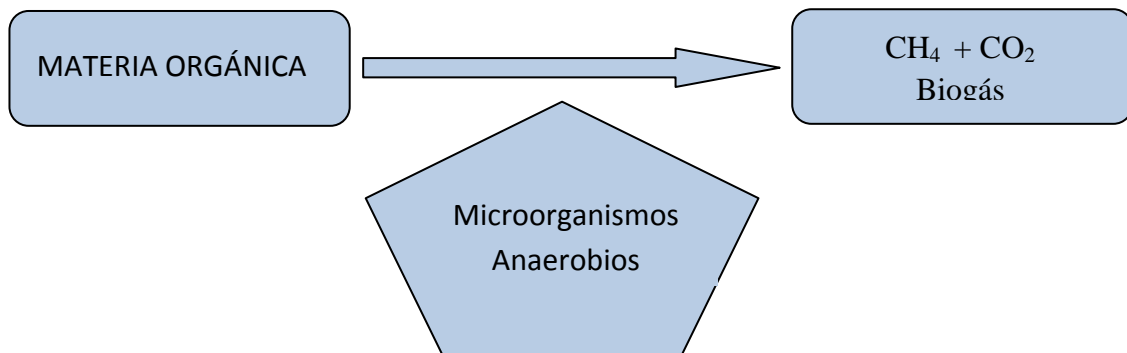


Figura 7. Diagrama Degradación Biológica de la Materia Orgánica. Fuente: realización propia

La digestión anaerobia se produce de forma natural en el medio ambiente, por ejemplo, se puede observar alrededor de cultivos de arroz, en el suelo, específicamente en lugares sin presencia de oxígeno, en pantanos, en zonas de agua estancadas, etc.

La digestión anaerobia es un proceso de transformación y no de destrucción de la materia orgánica. Como no hay presencia de un oxidante en el proceso, la capacidad de transferencia de electrones de la materia orgánica permanece intacta en el metano producido. En vista de que no hay oxidación, se tiene que la DQO teórica del metano equivale a la mayor parte de la DQO de la materia orgánica digerida (90 a 97%), una mínima parte de la DQO es convertida en lodo (3 a 10%).

En las reacciones bioquímicas que ocurren en la digestión anaerobia, solo una pequeña parte de la energía libre es liberada, mientras que la mayor parte de esa energía permanece como energía química en el metano producido.

2.6.1 DEGRADACIÓN ANAEROBIA DE LA MATERIA ORGÁNICA

La degradación anaerobia de la materia orgánica requiere la intervención de diversos grupos de bacterias facultativas y anaerobias estrictas, las cuales utilizan en forma secuencial los productos metabólicos generados por cada grupo. La digestión anaerobia de la materia orgánica se produce utilizando tres grandes grupos tróficos y cuatro pasos de transformación:

- Hidrólisis

Grupo I: bacterias hidrolíticas

- Acidogénesis

Grupo I: bacterias fermentativas

- Acetogénesis

Grupo II: bacterias acetogénicas

- Metanogénesis

Grupo III: bacterias metanogénicas

El proceso se inicia con la hidrólisis de polisacáridos, proteínas y lípidos por la acción de enzimas extracelulares producidas por las bacterias del Grupo I. Los productos de esta reacción son moléculas de bajo peso molecular como los azúcares, los aminoácidos, los ácidos grasos y los alcoholes, los cuales son transportados a través de la membrana celular; posteriormente son fermentados a ácidos grasos con bajo número de carbonos como los ácidos acético, fórmico, propiónico y butírico, así como compuestos reducidos como el etanol, además de H_2 y CO_2 . Los productos de fermentación son convertidos a acetato, hidrógeno y dióxido de carbono por la acción de las bacterias del Grupo II, las cuales son conocidas como “bacterias acetogénicas productoras de hidrógeno”.

Finalmente las bacterias del Grupo III o metanogénicas convierten el acetato a metano y CO_2 , o reducen el CO_2 a metano (ver Figura 8).

DIGESTIÓN ANAEROBIA:

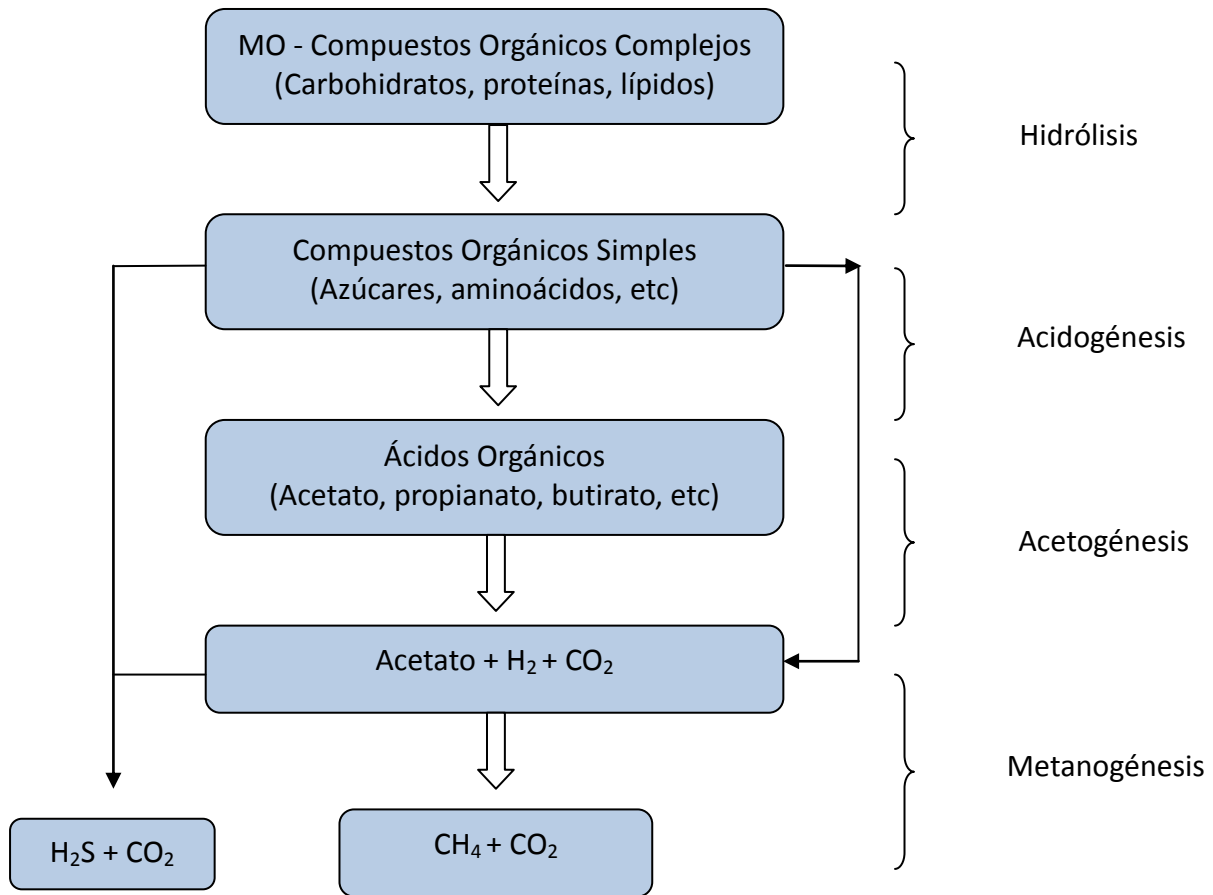


Figura 8. Etapas de la Digestión Anaerobia (Curso tratamiento de Aguas Residuales, 2002. www.fing.edu.uy).

La figura 8 muestra las diferentes etapas de la digestión anaerobia, tratamiento que se estudia en este TFM, enumerando y definiendo cada etapa de dicho proceso, como son la hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis.

Tabla 5. Ventajas de LA Digestión Anaerobia. Fuente: (MONCAYO; G.2011).

Factor	Ventajas de la digestión anaeróbica
Variabilidad en la composición orgánica	Homogenización de la composición, más intensa cuanto mayor es el tiempo de retención
Malos olores y compuestos orgánicos volátiles	Eliminación de ácidos grasos volátiles (AGV) y otros compuestos fácilmente degradables. La materia orgánica resultante es lenta y difícilmente degradable; los purines digeridos no presentan olor desagradable y son un producto más estable. En procesos térmicos posteriores se evitan problemas de volatilización de compuestos orgánicos.
Reducción de materia orgánica y total mineralización	Reducción de sólidos totales y volátiles. Reducción de materia orgánica degradable y mantenimiento de las concentraciones de nutrientes. Transformación de nitrógeno orgánico a amoniacal. Es caso de separar la fase acuosa, el producto resultante presentará menor volumen, manteniendo la misma riqueza fertilizante
Distribución de partículas y fracción soluble	Homogenización en la distribución de partículas, lo cual favorece el diseño y aplicación de procesos posteriores de secado. Hidrólisis de partículas de pequeño tamaño y coloidales, y reducción de orgánicos solubles, con lo cual se facilita la separación entre fases solubles y en suspensión
Consistencia	Consistencia pastosa de la relación sólida de los purines digeridos, lo cual favorece su manipulación y paletización
Alcalinidad	Alcalinidad Disminución muy significativa de la relación de alcalinidad. Aporte de alcalinidad para favorecer un proceso posterior de nitrificación, total o parcial. A su vez, y debido a la reducción de materia orgánica, el consumo energético en este proceso serán inferior al de la nitrificación de la fracción líquida de purines.

En cuanto a las ventajas que presenta el tratamiento anaerobio, en la tabla 5, se presentan algunas de ellas. Esta información importante a la hora de elegir este sistema de tratamiento de aguas residuales, a diferencia de otros tratamientos de aguas residuales.

2.7 DIFERENTES ALTERNATIVAS PARA EL TRATAMIENTO DE EFLUENTES

Se han estudiado las diferentes alternativas para el tratamiento de efluentes de granjas, como por ejemplo, el tratamiento de este efluente con reactor MBR, con el cual se logra tener una desinfección de los efluentes, una mayor concentración de biomasa suspendida y operaciones que resultan con un largo periodo de tiempo de retención hidráulica de fangos, y lodos de baja producción.

El proceso MBR se aplico con varios tipos de aguas residuales con un alto grado de oxidación orgánica y la eliminación de nitrógeno, pero tiene como desventaja el ensuciamiento de la membrana, que es un problema grave, ya que disminuye el flujo, genera alto consumo de energía y la membrana frecuentemente requiere de limpieza o más bien de sustitución.

El ensuciamiento de la membrana es un factor importante para el funcionamiento eficaz del MBR. Los lodos tienen propiedades fisiológicas como también productos microbianos solubles, hidratos de carbono y proteínas, estos son los principales factores que afectan el desempeño del sistema MBR. El Tamaño de flóculo pequeño en el MBR puede ser absorbido o bloqueado entre los poros eficaces de la membrana. Estos parámetros son causados por el ensuciamiento de la membrana y debe ser motorizado.

En estudios consultados se busca como alternativa ante todo lo mencionado para el tratamiento de los efluentes porcinos, un proceso híbrido combinado CP-MBR adoptado para proporcionar información básica sobre el proceso combinado de las aguas residuales porcícolas. Los análisis de este estudio se llevaron a cabo para explicar la tasa de oxidación orgánica y la eliminación de nitrógeno. También hay factores que afectan este proceso como son: el ensuciamiento de la membrana, la viscosidad y la DQO, etc.

A diferencias de este estudio antes mencionado con reactor MBR, se puede observar que tiene una serie de inconvenientes que encarece el tratamiento de las aguas residuales porcícola, también buscan combinarlo con otros sistemas como alternativas para poder mitigar un poco estos contaminantes generados por estos efluentes, es por estas desventajas que tienen los sistemas MBR frente a los sistemas anaerobio, que como opción de tratar los efluente de granjas porcina elijo el tratamiento con un reactor anaerobio. A continuación del apartado siguiente se detallan los conceptos del tratamientos de agua porcinas.

2.7.1 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROCEDENTES DE GRANJAS PORCINAS

En busca de reducir o eliminar el impacto ambiental causado por estos efluentes de granjas, nos planteamos implementar un sistema de tratamiento anaerobio de aguas residuales, poniendo en marcha un birreactor anaerobio.

Aunque el tratamiento mediante biodigestión no resuelve los problemas ambientales generados por la alta concentración de nitrógeno de los purines y sus negativos efectos, derivados de su transformación en amoniacos o nitratos, sí aporta grandes ventajas en cuanto a la reducción de olores, estabilización y sobre todo reducción de emisiones de GEI.

Los residuos ganaderos del sector porcino contribuyen de manera relevante a las emisiones de metano (gas de efecto invernadero GEI), es por esto que se buscan alternativas para disminuir el impacto ambiental. Siendo uno de los potenciales contaminantes en la producción porcina, el metano, que es un gas, que se puede aprovechar para diferentes usos en el proceso de producción de estas granjas, reduciendo así los costes de la energía utilizada.

A continuación la figura 9 muestra un sistema de digestión de tratamiento anaerobio.

Sistema de Digestión de Tratamiento Anaerobio:

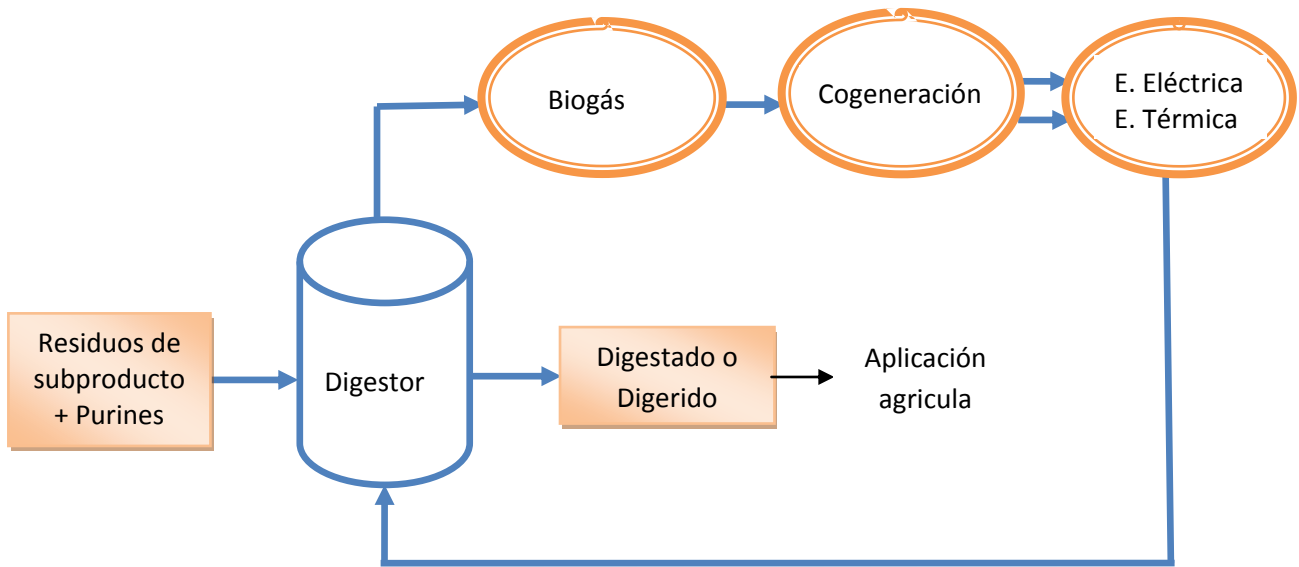


Figura 9. Esquema de digestión de sistema de tratamiento anaerobio

La digestión anaerobia de las deyecciones (purines) de granjas de porcino permite evitar el olor fecal y la digestión espontánea, con sus consiguientes emisiones de CH_4 y CO_2 . La digestión anaerobia puede combinarse con otros procesos en el tratamiento de los purines: complementada con la separación de sólidos y del amoníaco, permite obtener un purín de bajo contenido en nitrógeno y fósforo, para su aplicación al terreno agrícola en mayores proporciones; combinada con una digestión aerobia, permite conseguir un agua con prácticamente nada de materias orgánicas y nutrientes.

Se obtiene la viabilidad económica cuando se integra en un proceso de tratamiento y secado que permite obtener un fertilizante sólido y agua reutilizable, y en el que la energía necesaria se genere en régimen de cogeneración con gas natural y biogás.

CAPÍTULO III. DISEÑO REACTOR ANAEROBIO PLANTA PILOTO EN LABORATORIO

3.1 METODOLOGÍA Y EQUIPOS

Se ha realizado el montaje de una planta de laboratorio para el tratamiento de purines porcinos, con el fin de estudiar la biometanización por eliminación de DQO, midiendo el gas generado. A continuación se detallan las características del diseño así como la puesta en marcha del reactor.

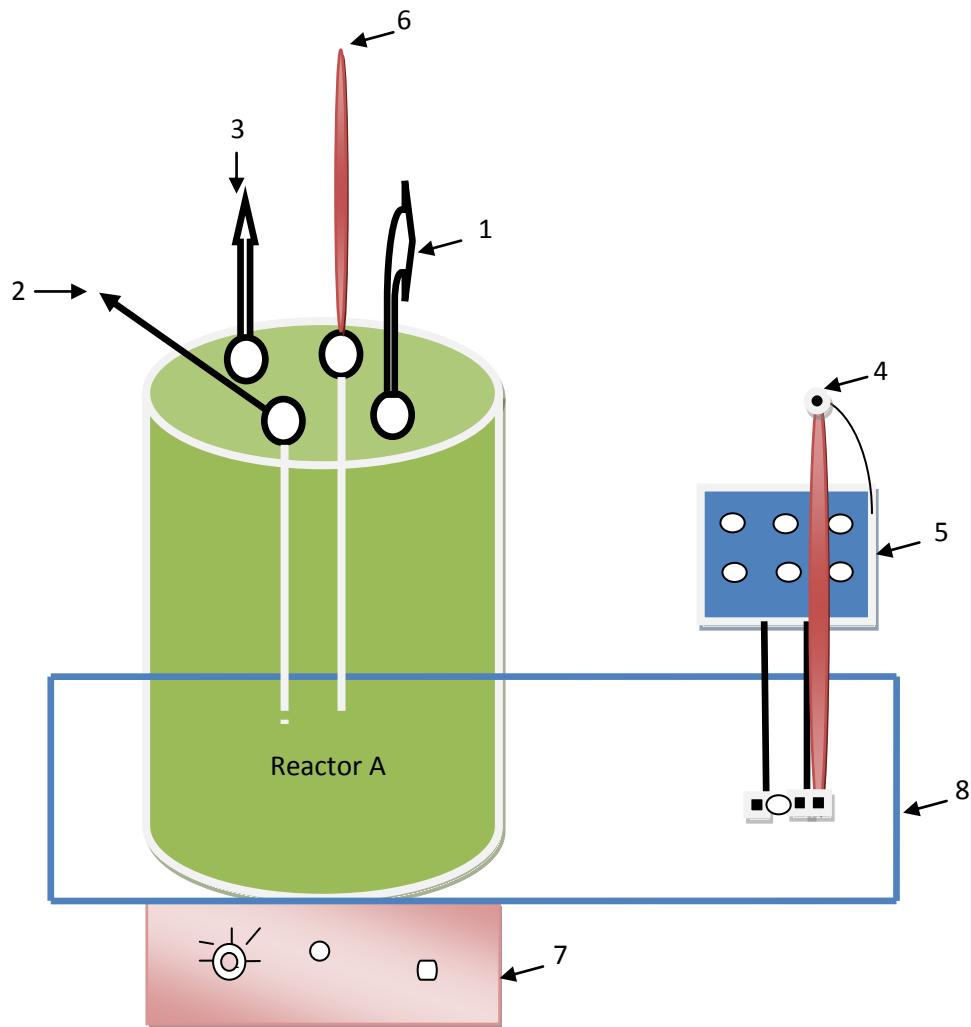
3.1.1 PLANTA DE LABORATORIO

Se han utilizado diferentes partes o equipos para el montaje de la planta de laboratorio. Como reactor anaerobio se ha empleado un recipiente de vidrio de capacidad de 2 litros, y de base cilíndrica.

En este sistema se utiliza una resistencia eléctrica para calentar el agua de la cuba, donde se encuentra el reactor, y esta calienta el digestor, por transferencia de calor.

Las figuras 10 y 11 muestran un esquema y una foto del digestor utilizado en la planta de laboratorio.

Los equipos utilizados en la parte analítica se muestran en el siguiente apartado.



- 1- Tubo colector de gas
- 2,3- Tubos de recirculación (no son necesarios en este caso pues el material es fluido)
- 4- Termómetro para controlar la temperatura del baño del agua
- 5- Resistencia controladora de temperatura
- 6- Termómetro para controlar la temperatura en el digestor
- 7- Mezclador magnético para recircular el fluido en el reactor
- 8- Tanque lleno de agua

Figura 10. Esquema de Montaje de Digestor Anaerobio Planta de Laboratorio

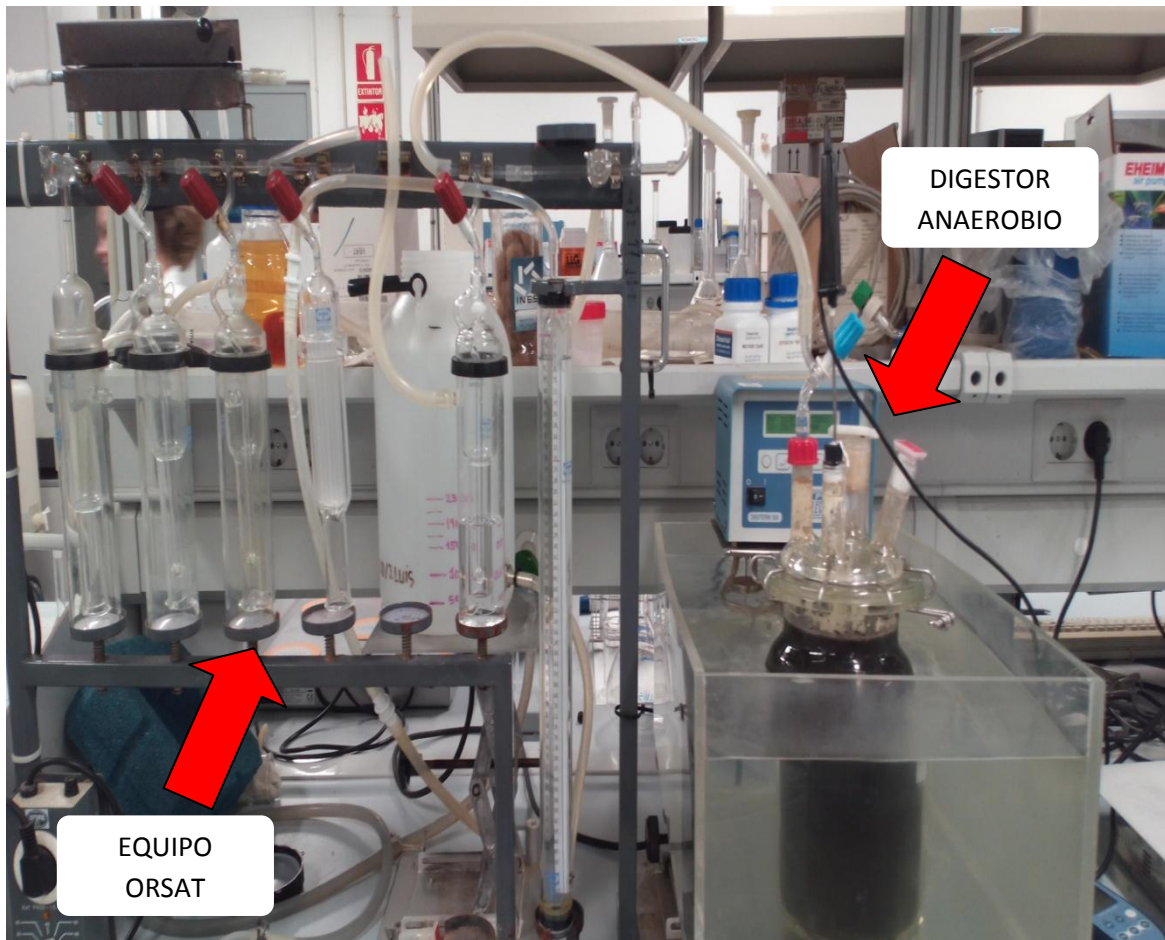


Figura 11. Foto Sistema de Planta de Laboratorio

Además de todo lo antes mencionado, también se utilizó en la planta de laboratorio, un equipo ORSAT, como se muestra en la figura 11. Se trata de un dispositivo que permite realizar análisis volumétricos de gases, este equipo se utilizó para facilitar la recogida y medición del biogás generado.

3.2 TÉCNICAS ANALÍTICAS

A continuación se describe el equipo utilizado para la aplicación de las técnicas analíticas realizadas.

- Balanza analítica. Marca: METTLER. Modelo: AE 200. Campo de pesada: 0-250 g. Zona de tarado (sustractiva): 0-205 g. Reproducibilidad desviación típica): 0,1 mg. Linealidad, ± 0.3 mg
- Balanza granataria. Marca OHAUS. Modelo: E400. Capacidad: 400 g. Legibilidad de 0,01 gr.
- Estufa. Marca: SELECTA. Temperatura máxima: 1200°C.
- Mufla. Marca: P SELECTA, modelo 367 PE.
- Termómetro digital °C
- pHmetro. Marca: CRISON 507 con electrodo de cuerpo de plástico. Con escala de medida de -2 a +16 y una resolución de 0.01, con compensador automático de temperatura.
- Placa con agitador magnético electrónico. Modelo: AGIMATIC-E. Potencia: 630 W. Temperatura máxima: 350°C. Resolución de temperatura: 1°C. Velocidad: 60-1600 rpm.

A continuación se presentan las técnicas analíticas usada para las cuantificaciones de los parámetros de control, operacionales y de alimentación analizada en los experimentos.

- DQO

Procedimiento:

Kits de la marca Hach Lange, rango 1000-10.000 mg/l

1. Agitar la probeta horizontalmente
2. Introducir 0.5 ml de muestra
3. Agitar la probeta horizontalmente
4. Introducir en el termoreactor 2 horas a 148 grados
5. Agitar la probeta horizontalmente y esperar unos minutos hasta q se enfríe hasta temperatura ambiente

6. Leer el resultado de la DQO en el termoreactor

- NKT AMONICAL N-NH₄

Nota: Disolución de NaOH empleada por el aparato 40% marca Panreac

Acido bórico 4% marca VWR

Indicador mixed 5 valido para disoluciones amonio marca Merck

HCl 0.1 M marca VWR

Procedimiento:

1. Puesta a punto del aparato: introducir 25 ml de agua destilada en el matraz cilíndrico y calentar el aparato
2. Blanco: introducir 25 ml de agua destilada en el matraz cilíndrico. Introducir en el Erlenmeyer 50 ml de acido bórico + 5 gotas de indicador Mixed Indicator 5.
3. Análisis de la muestra: introducir 25 ml de agua destilada en el matraz cilíndrico + 5 gramos de muestra. Introducir en el Erlenmeyer 50 ml de acido bórico + 5 gotas de indicador Mixed Indicator 5.
4. valoración del blanco y de la cantidad de muestra: se valora la disolución patrón o blanco así como la disolución de muestra recogidas en el Erlenmeyer con HCl 0,1 Molar.

Para calcular la cantidad de N-NH₄ se utiliza la ecuación siguiente:

$$\text{Miligramos/litro NH}_3\text{-N} = (V \text{ HCl} - V \text{ blanco}) * 0,1 * 1000 * 14,007 / 5 \text{ ml}$$

5 ml o tantos ml como muestra introducida

- pH

Material usado: Medidor de pH (Marca CRISON modelo 507)

Procedimiento:

- Calibrar el medidor de pH según las instrucciones del fabricante.
- Introducir el electrodo de PH en la muestra que se desea analizar, dejando que se estabilice y anotar el PH obtenido.

- Temperatura

La temperatura de las muestras se mide con un termómetro digital.

- Sólidos totales y volátiles

Material usado:

- Cápsulas de porcelana
- Estufa
- Mufla
- Desecador
- Balanza analítica

Procedimiento:

Se preparan los crisoles. Secar los crisoles durante 15 minutos a 550 °C. Introducirlos posteriormente en un desecador, enfriar y pesar hasta peso constante (Po, mg).

Se miden aproximadamente 50 ml de muestra (V) y se introduce el crisol. Secar la muestra en la estufa a 100 °C durante 1 horas, con el fin de secar la muestra. Introducirlo en un desecado un mínimo de 30 minutos y se pesa nuevamente p (P1, mg).

Para hacer los cálculos de los ST de la muestra, utilizamos la ecuación siguiente:

$$ST = \frac{P1 - P0}{V}$$

El crisol que contiene la muestra seca a 100 °C se introduce en un horno mufla durante 1 hora a 550 °C. Se coloca en un desecador durante 30 minutos y se pesa nuevamente (P2, mg).

Para el cálculo de los Sólidos Volátiles de la muestra se utilizan la ecuación siguiente:

$$SV = \frac{P1 - P2}{V}$$

3.2.1 MUESTREO

En la operación de la toma de muestra se debe tomar en cuenta la cantidad extraída necesaria y adecuada, conservada hasta la realización de su análisis, ya que de ella dependen los buenos o malos resultados. Cualquier muestreo tiene como objetivo recoger, como es el caso del proyecto, una cantidad mínima o una porción del purín que pueda ser manejable en el laboratorio y representativa del origen.

Para el desarrollo de la fase experimental se ha empleado fango antes de digestión y fango digerido, así como purín fresco. Como se puede observar en la figura 13.



Figura 13. Imagen de Muestras de Purín.

El fango empleado en este experimento se ha cogido de la EDAR, y el purín fresco se cogido de una granja de Utiel.

3.2.2 DISEÑOS DEL EXPERIMENTO

Este experimento se divide en dos: puesta en marcha con fango de digestión anaerobia de EDAR y tratamiento del purín.

En este diseño experimental es necesario definir los parámetros que registrará cada uno de los ensayos, los puntos de muestreo, la frecuencia de los muestreos, y las técnicas e instrumentos adecuados. A continuación se hace una descripción del diseño.

3.2.3 ENSAYO 1

- El objetivo principal es analizar la cantidad de biogás producido y su composición.
- Controlar los parámetros de PH y Temperatura.
- Parámetros operacionales: sólidos totales (ST), sólidos totales volátiles (STV).
- Sustrato empleado en la alimentación: Purín porcino.

3.2.4 VALORACIÓN DE BIOGÁS

Para la valoración del gas metano se siguen los siguientes procedimientos:

Se trata de un equipo a priori sencillo, que permite realizar análisis volumétricos de gases en base seca (es decir, no tiene en cuenta el vapor de agua presente en los gases de combustión), habitualmente de los productos de la combustión. Pero en el caso a tratar, este biogás será el producto de un digestor anaerobio construido en el laboratorio de aguas residual de la universidad politécnica de valencia (UPV) con el objetivo de la eliminación de residuos de la industria de granjas porcinas.

En general el equipo ORSAT tiene la posibilidad de proporcionar el porcentaje en dióxido de carbono (absorbido por hidróxido de potasio, KHO), oxígeno (absorbido por ácido pirogálico o solución alcalina de pirogalol, $C_6H_6O_3$) y monóxido de carbono (absorbido por una solución ácida de cloruro cuproso, CuCl).

En este TFM, el objetivo es medir únicamente el metano, y se ha considerado fundamentalmente que el biogás es la suma de metano (CH_4) más dióxido de carbono (CO_2), por lo que no se realizaron los otros componentes.

3.2.4.1 REACTIVOS Y PREPARACIÓN

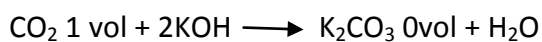
- Hidróxido de potasio (KHO, absorbe el CO₂) en la primera pipeta A

Se afora 5,6 g de hidróxido de potasio hasta 100 ml de disolución en agua destilada. De esta forma obtenemos una disolución 1N, se toman los 100 ml de disolución y se añade al frasco de absorción correspondiente.

- Ácido clorhídrico 1N
- Acido clorhídrico 0.1 molar
- Fenolftaleína 1 %
- Anaranjado de metilo 0.5%

Procedimiento:

- 1- Dióxido de carbono (CO₂):** Se mide poniendo en contacto una muestra de un volumen conocido, de 100 ml, con una solución de hidróxido de potasio (KHO) 1N. El dióxido de carbono reacciona con el hidróxido de potasio como se muestra en la ecuación:



En la reacción, el dióxido de carbono desaparece de la fase gaseosa y el carbonato formado se queda en la fase líquida; además, la pérdida de volumen del gas es igual al contenido de dióxido de carbono. Adicionalmente, sulfuro de hidrogeno presente del gas se combina también con el hidróxido de potasio pero el volumen de sulfuro de hidrogeno es normalmente tan pequeño que se efecto puede ser ignorado.



En este proyecto la finalidad para determinar el metano puro era aplicando cada análisis del los procedimientos antes mencionados.

Para valorar el metano del biogás, se tomaron los 100 ml de KOH 1N y con PH igual a 12, se añadieron 2 gotas de fenolftaleína la solución cambió de incoloro a color rosa, en la pipeta A del equipo ORSAT, se hizo pasar 100 ml del biogás producido por la solución de KOH, se dejó reposar durante una hora, una vez transcurrida la hora se tomo la muestra del equipo ORSAT y se vació en un recipiente de 400 ml, la muestra fue titulada con ácido clorhídrico 0.1 M hasta cambiar de color incoloro, que representa los HCO₃, luego se agregaron 2 gotas de anaranjado de metilo y cambio de incoloro a color naranja, fue titulado con ácido clorhídrico hasta cambiar de color amarillo que representan K₂CO₃.

El volumen gastado de ácido clorhídrico para ambas titulación (V1 + V2) son los considerados para determinar la cantidad de metano presente en el biogás.

Para la valoración del gas metano utilizamos las siguientes ecuaciones:

$$(V_T) \times N = g \text{ K}_2\text{CO}_3 / \text{P}_{\text{eq}} \text{ K}_2\text{CO}_3 \quad \text{EC. 1}$$

$$V_{\text{Total}} = (V1 + V2)$$

$$\text{Peso equivalente (P}_{\text{eq}}) \text{ K}_2\text{CO}_3 = \text{PM}/2$$

$$\text{Masa equivalente (meq) HCl} = \text{meq k}_2 \text{ CO}_3 \quad \text{EC. 2}$$

$$PV = n RT \quad \text{EC. 3}$$

$$\% \text{CO}_2 = \frac{100 * V_{\text{CO}_2}}{V_{\text{Total}}} \quad \text{EC. 4}$$

$$1 \text{ mol CO}_2 = 1 \text{ mol CH}_4$$

Cantidad de biogás producido a valorar 70 ml, calculamos utilizando la ecuación 2:

$$V_{\text{Total}} = 34.4 \text{ ml}$$

$$V_{\text{Total}} * N = \frac{g \text{ K}_2\text{CO}_3}{\text{P}_{\text{eq}} \text{ K}_2\text{CO}_3}$$

$$(34.4) * 0.1/1000 = \frac{gK_2CO_3}{\frac{138.205 \text{ g/mol}}{2}}$$

$$0.00344 = \frac{gK_2CO_3}{69.1025} = 0.2377126 \text{ gK}_2\text{CO}_3$$

$$\frac{0.2377126 \text{ gK}_2\text{CO}_3}{138.205 \text{ g/mol}} = 0.001585 \text{ moles K}_2\text{CO}_3$$

$$0.00172 \text{ moles K}_2\text{CO}_3 = \text{moles CO}_2$$

Utilizando la ecuación 3 de los gases ideales obtenemos:

$$PV = n RT$$

$$1 * V = 0.00172 * 0.082 * (298) * 1000$$

$$V = 42.02992 \text{ ml CO}_3 \text{ Se producen } 42.02992 \text{ ml de CH}_4$$

$$\%CO_2 = \frac{100 * VCO_2}{V_{Total \text{ gas producido}}}$$

$$CO_2 = \frac{100 * 42.02992}{70} = 60.04274286 \%CO_2$$

Para cada valor de las tablas de los resultados son calculados de la misma forma, con las mismas ecuaciones.

Cantidad de biogás producido a valorar 64 ml, calculamos utilizando la ecuación 2:

$$V_{Total} = 47.0 \text{ ml}$$

$$V_{Total} * N = \frac{gK_2CO_3}{Peq K_2CO_3}$$

$$(47.0) * 0.1/1000 = \frac{gK_2CO_3}{\frac{138.205 \text{ g/mol}}{2}}$$

$$0.0047 = \frac{gK_2CO_3}{69.1025} = 0.32478175 \text{ gK}_2\text{CO}_3$$

$$\frac{0.32478175 \text{ gK}_2\text{CO}_3}{138.205 \text{ g/mol}} = 0.00235 \text{ moles K}_2\text{CO}_3$$

$$0.00235 \text{ moles K}_2\text{CO}_3 = \text{moles CO}_2$$

Utilizando la ecuación 3 de los gases ideales obtenemos:

$$PV = n RT$$

$$1 * V = 0.00235 * 0.082 * (298) * 1000$$

$$V = 57.4246 \text{ ml CO}_2 \text{ Se producen } 57.4246 \text{ ml de CH}_4$$

Calculando el porcentaje de CO₂:

$$\%CO_2 = \frac{100 * VCO_2}{V_{Total \text{ gas producido}}}$$

$$\%CO_2 = \frac{100 * 57.4246}{64} = 89.725973 \%CO_2$$

Cantidad de biogás producido a valorar 81 ml, calculamos utilizando la ecuación 2:

$$V_{Total} = 41.4 \text{ ml}$$

$$V_{Total} * N = \frac{gK_2CO_3}{PeqK_2CO_3}$$

$$(44.1) * \frac{0.1}{1000} = \frac{gK_2CO_3}{\frac{138.205 \frac{g}{mol}}{2}}$$

$$0.00414 = \frac{gK_2CO_3}{69.1025} = 0.28608435 \text{ gK}_2\text{CO}_3$$

$$\frac{0.28608435 \text{ gK}_2\text{CO}_3}{138.205 \text{ g/mol}} = 0.00207 \text{ moles K}_2\text{CO}_3$$

$$0.00207 \text{ moles K}_2\text{CO}_3 = \text{moles CO}_2$$

Utilizando la ecuación 3 de los gases ideales obtenemos:

$$PV = n RT$$

$$1 * V = 0.00207 * 0.082 * (298) * 1000$$

$$V = 50.58252 \text{ ml CO}_2 \text{ Se producen } 50.58252 \text{ ml de CH}_4$$

$$\%CO_2 = \frac{100 * VCO_2}{V_{Total \text{ gas producido}}}$$

$$\%CO_2 = \frac{100 * 50.58252}{81} = 62.44755556 \%CO_2$$

Cantidad de biogás producido a valorar 81 ml, calculamos utilizando la ecuación 2:

$$V_{Total} = 26.7 \text{ ml}$$

$$V_{Total} * N/1000 = \frac{g \text{ K}_2\text{CO}_3}{P_{eq} \text{ K}_2\text{CO}_3}$$

$$(26.7) * \frac{0.1}{1000} = \frac{g \text{ K}_2\text{CO}_3}{\frac{138.205 \frac{g}{mol}}{2}}$$

$$0.00267 = \frac{g \text{ K}_2\text{CO}_3}{69.1025} = 0.184503675 \text{ g K}_2\text{CO}_3$$

$$\frac{0.184503675 \text{ g K}_2\text{CO}_3}{138.205 \text{ g/mol}} = 0.001335 \text{ moles K}_2\text{CO}_3$$

$$0.001335 \text{ moles K}_2\text{CO}_3 = \text{moles CO}_2$$

Utilizando la ecuación 3 de los gases ideales obtenemos:

$$PV = n RT$$

$$1 * V = 0.001335 * 0.082 * (298) * 1000$$

$$V = 32.62206 \text{ ml CO}_2 \text{ Se producen } 32.62206 \text{ ml de CH}_4$$

$$\% \text{CO}_2 = \frac{100 * V_{\text{CO}_2}}{V_{\text{Total gas producido}}}$$

$$\% \text{CO}_2 = \frac{100 * 32.62206}{81} = 40.02744815 \% \text{CO}_2$$

Cantidad de biogás producido a valorar 95 ml, calculamos utilizando la ecuación 2:

$$V_{Total} = 44.5 \text{ ml}$$

$$V_{Total} * N = \frac{gK_2CO_3}{Peq K_2CO_3}$$

$$(44.5) * \frac{0.1}{1000} = \frac{gK_2CO_3}{\frac{138.205 \frac{g}{mol}}{2}}$$

$$0.00445 = \frac{gK_2CO_3}{69.1025} = 0.307506125 \text{ gK}_2\text{CO}_3$$

$$\frac{0.307506125 \text{ gK}_2\text{CO}_3}{138.205 \text{ g/mol}} = 0.002225 \text{ moles K}_2\text{CO}_3$$

$$0.002225 \text{ moles K}_2\text{CO}_3 = \text{moles CO}_2$$

Utilizando la ecuación 3 de los gases ideales obtenemos:

$$PV = n RT$$

$$1 * V = 0.002225 * 0.082 * (298) * 1000$$

$$V = 54.3701 \text{ ml CO}_2 \text{ Se producen } 54.3701 \text{ ml de CH}_4$$

$$\%CO_2 = \frac{100 * VCO_2}{V_{Total \text{ gas producido}}}$$

$$\%CO_2 = \frac{100 * 54.3701}{95} = 57.23168421 \%CO_2$$

Cantidad de biogás producido a valorar 71 ml, calculamos utilizando la ecuación 2:

$$V_{Total} = 39.3 \text{ ml}$$

$$V_{Total} * N = \frac{gK_2CO_3}{Peq K_2CO_3}$$

$$(39.3) * \frac{0.1}{1000} = \frac{gK_2CO_3}{\frac{138.205 \frac{g}{mol}}{2}}$$

$$0.00393 = K_2CO_3 \frac{gK_2CO_3}{69.1025} = 0.271572825 gK_2CO_3$$

$$\frac{0.271572825 gK_2CO_3}{138.205 g/mol} = 0.001965 moles K_2CO_3$$

$$0.001965 moles K_2CO_3 = moles CO_2$$

Utilizando la ecuación 3 de los gases ideales obtenemos:

$$PV = n RT$$

$$1 * V = 0.001965 * 0.082 * (298) * 1000$$

$$V = 48.01674 ml CO_2 \text{ Se producen } 48.01674 ml \text{ de } CH_4$$

$$\%CO_2 = \frac{100 * VCO_2}{V_{Total \text{ gas producido}}}$$

$$\%CO_2 = \frac{100 * 48.01674}{71} = 67.62921127 \%CO_2$$

Cantidad de biogás producido a valorar 75.2 ml, calculamos utilizando la ecuación 2:

$$V_{Total} = 28.4 ml$$

$$V_{Total} * N = \frac{gK_2CO_3}{P_{eq} K_2CO_3}$$

$$(28.4) * \frac{0.1}{1000} = \frac{gK_2CO_3}{\frac{138.205 \frac{g}{mol}}{2}}$$

$$0.00284 = \frac{gK_2CO_3}{69.1025} = 0.1962511 gK_2CO_3$$

$$\frac{0.1962511 gK_2CO_3}{138.205 g/mol} = 0.00142 moles K_2CO_3$$

$$0.00142 moles K_2CO_3 = moles CO_2$$

Utilizando la ecuación 3 de los gases ideales obtenemos:

$$PV = n RT$$

$$1 * V = 0.00142 * 0.082 * (298) * 1000$$

V = 34.69912 ml CO₂ Se producen 34.69912 ml de CH₄

$$\%CO_2 = \frac{100 * VCO_2}{V_{Total \text{ gas producido}}}$$

$$\%CO_2 = \frac{100 * 34.69912}{75.2} = 46.14244681 \%CO_2$$

CAPÍTULO IV. RESULTADOS

En este capítulo se ha resumido todos los resultados obtenidos durante el desarrollo de este TFM, desde el inicio de la investigación. Estos resultados se han utilizado para comparar y valorar la eficacia del sistema de tratamiento anaerobio utilizado para la generación de biogás.

4.1 MONTAJE Y ENSAMBLE DE EQUIPOS

A continuación se detallan los pasos seguidos en el montaje y ensamble de equipos.

- 1- Se toma el reactor anaerobio, este está compuesto de cuatro salidas, como se muestra en la figura 10, donde una salida corresponde al tubo colector del gas, otra corresponde al termómetro, en este caso utilizamos un termómetro digital, y las otras dos restantes son para la recirculación, pero en este caso no hay recirculación por lo que estarán cerradas, solo el más grande es utilizado para la adicción del sustrato (purín) y la toma de muestra analizar.
- 2- Se toma una cuba con agua, se conecta una resistencia como la mencionada anteriormente, sumergida y sujeta en un lado de la cuba, esta es utilizada para calentar el agua de la cuba, y a la vez calentar el reactor con el purín a tratar.
- 3- Se introduce el reactor en la cuba con agua hasta tocar el fondo, el agua cubre el reactor hasta el nivel del líquido contenido en el reactor, para tener un buen calentamiento del líquido a tratar.
- 4- Se coloca una placa mezcladora magnética al reactor en la parte exterior de la cuba, para mantener agitado el licor del reactor anaerobio.
- 5- Se coloca en paralelo a la cuba con el reactor un sistema ORSAT, para la medición del gas producido.
- 6- Se conecta a la salida del tubo colector de gas del reactor una manguera, que va conectada a la entrada de un tubo, de una columna de agua, del sistema ORSAT.

- 7- En la otra salida del reactor se coloca un termómetro digital, sellado para evitar la fuga de gas.
- 8- Se conecta a la salida del tubo de la columna de agua del equipo ORSAT, una manguera que va hacia un depósito colector del agua desalojada de la columna.
- 9- El equipo ORSAT, tiene conectada una manguera desde el grifo hasta la entrada del interior de la columna de agua, que es utilizado como un intercambiador, y otra a la salida que va hasta la pileta.
- 10- El equipo ORSAT, tiene conectada una manguera que va desde el tubo de la columna de agua, donde está el gas acumulado, hasta unos recipientes de tratamiento y análisis del gas producido.

Una vez ensamblados y montados los equipos de la planta piloto de laboratorio, el sistema es sometido como medida de seguridad a varias pruebas de fuga, con un compresor de aire, para prevenir las fugas de gas en el sistema y evitar la corrección cuando la planta este en marcha, ya que esta operación retrasa el proceso.

4.2 CARACTERÍSTICAS DEL PURÍN A TRATAR

La tabla 6, muestra las características iniciales del purín que se tratará en el sistema de tratamiento anaerobio de este TFM. Estas características son del purín utilizado en la planta de laboratorio, purín de una granja porcina de Utiel. En el apartado de conclusiones se muestra la reducción o el cambio de estas características del purín inicial después de ser digerido.

Características del Purín a Tratar en digestor anaerobio:

Tabla 6. Características del Purín a Tratar

Purín sin digerir	Valores
ST (g/l)	24,2
SV (g/l)	18,34
NH ₃ -N (mg/l)	1192,9
DQO (mg/l)	4959
pH	7,41
Conductividad (ms/cm)	13,96

En el diseño de los experimentos en la planta de laboratorio, es necesario calcular el volumen del reactor y para ello se precisa saber las características del purín a tratar, en término de contaminación y la carga de operación del reactor (carga orgánica volumétrica).

El cálculo del volumen total del reactor anaerobio a construir en el laboratorio necesario para tratar el purín, se calcula teniendo en cuenta la DQO del purín a la entrada del reactor.

El flujo de efluente a tratar, su composición en término de DQO y la temperatura, así como la eficiencia de remoción del tratamiento anaerobio y el porcentaje del metano en el biogás, son indispensables para determinar la cantidad y calidad de biogás que se obtendrá en esta planta piloto de laboratorio.

Teniendo en cuenta las características iniciales del purín procedemos a calcular los principales parámetros de diseño.

4.3 CÁLCULOS PREVIOS A LA PUESTA EN MARCHA

$$\text{Caudal (Q)} = 400 \text{ ml}/7\text{d} = 57.14 \text{ ml}^*\text{d}$$

$$\text{Volumen del Reactor (V)} = 2000 \text{ ml}$$

Tiempo de Retención Hidráulica

$$(\text{TRH}) = ?$$

Cálculo del tiempo de retención hidráulica del reactor

$$\text{TRH} = \frac{Q}{V_R}$$

$$\text{TRH} = \frac{2000 \text{ ml}}{57.14 \text{ ml}/\text{d}}$$

$$\text{TRH} = 35 \text{ días}$$

Cálculo de la Carga orgánica volumétrica (COV) de trabajo en el reactor.

La carga orgánica que entra al reactor dependerá de la DQO del purín a tratar, del caudal del purín que entra al reactor y del volumen del mismo.

$$\text{COV} = \frac{Q * S}{V_R}$$

Donde:

COV= carga orgánica volumétrica (mg DQO/ml*d)

Q = Caudal afluente (ml/d)

S= Concentración de sustrato afluente (mg DQO/l)

VR= Volumen del reactor (ml)

$$\text{COV} = \frac{57.14 \frac{\text{ml}}{\text{d}} * \frac{4959 \text{mgDQO}}{\text{L}} * \frac{1 \text{l}}{1000 \text{ ml}}}{2000 \text{ml}} = 0.14 \frac{\text{mgDQO}}{\text{d/ml}}$$

4.4 PUESTA EN MARCHA DEL REACTOR

Después de haber calculado los parámetros de diseño del reactor y elaborado el montaje, se procedió a la puesta en marcha del mismo. En la figura 14 se muestra el montaje de los equipos de la planta de laboratorio y la descripción del el proceso.

4.4.1 DIAGRAMA DE EQUIPOS PLANTA PILOTO DE LABORATORIO

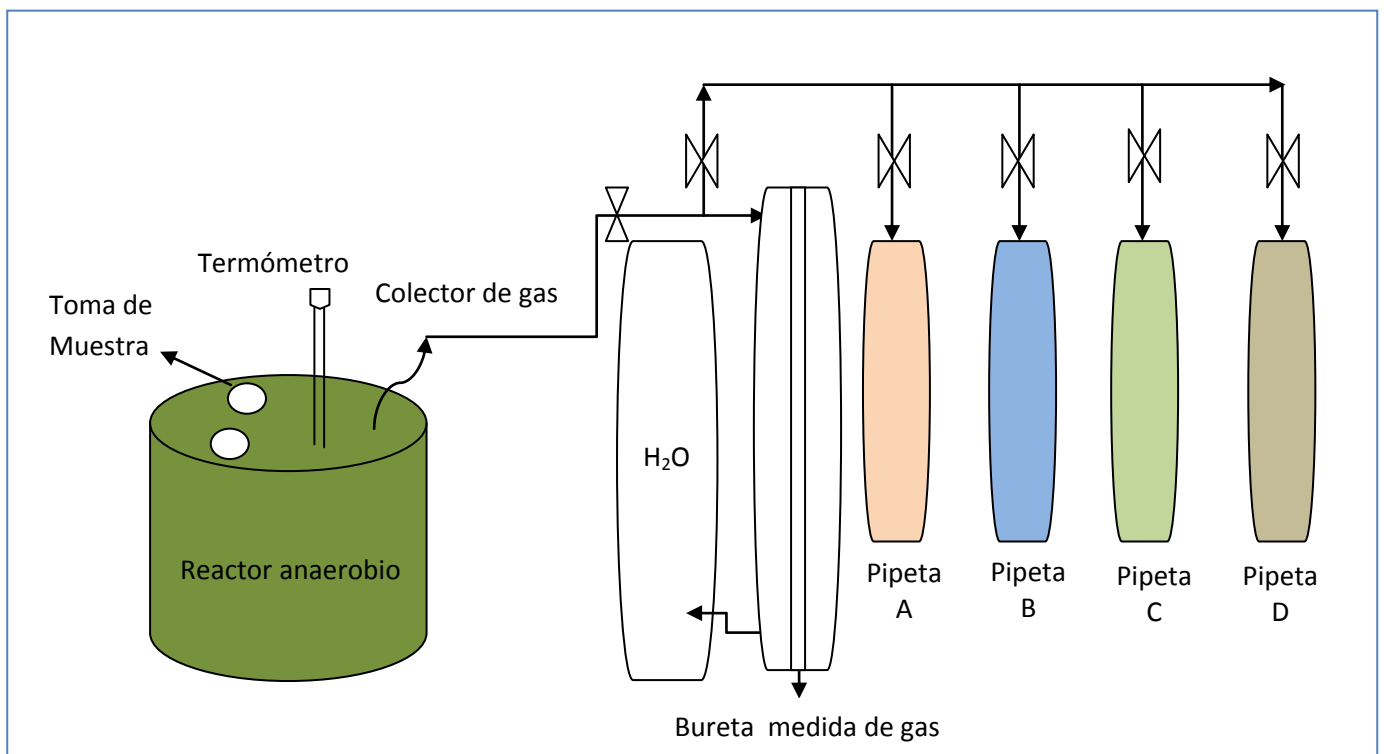


Figura 14. Diagrama de Equipos Planta Piloto

4.4.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

Se adiciona la cantidad de ml de sustrato en el reactor anaerobio, se introducen un imán en el mismo, se pone en movimiento el mezclador magnético a una velocidad de 300 a 1600 rpm, se llena la cuba de agua, se enciende la resistencia hasta alcanzar una temperatura máxima de 35 °C, la cual calienta el líquido del reactor hasta la misma temperatura.

En el reactor se va formando el gas, el biogás es liberado, este se hace pasar por una manguera colectora hasta un tubo de una columna de agua del equipo ORSAT, que tiene una capacidad volumétrica de 100 ml, el cual va desplazando el agua a un depósito de nivel que está conectada a la salida del tubo de la columna, a medida que aumenta el volumen del gas el desplazamiento del agua aumenta.

Cuando el gas producido haya desalojado los 100 ml de la columna de agua, este es sometido a un tratamiento químico, el mismo se pasa por un recipiente del equipo ORSAT, que contiene una solución de hidróxido de potasio 1N. Con este tratamiento eliminamos el CO₂ producido del metano y posteriormente procedemos a su valoración.

4.4.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE LA PUESTA EN MARCHA CON FANGO DE EDAR

La puesta en marcha se realizó con fango de digestión anaerobia de EDAR.

Se adicionó 1600 ml de fango obtenido de una muestra previa al digester y 400 ml de fango digerido, al reactor anaerobio, con la finalidad de comprobar que dicho sistema es capaz de llevar a cabo la operación a la que ha sido diseñado, además de también climatizar las bacterias metanogénicas presente en el reactor y alcanzar una estabilidad del mismo. La temperatura de operación fijada con estos fangos fue de 50 °C.

Al ser el ensayo de puesta en marcha no se cuantificó el biogás generado, pero se comprobó que se generaba biogás, que reducía los contaminantes en estos fangos como se muestra en la tabla 7, y que el sistema es capaz de llevar a cabo dicho tratamiento dejando un fango estabilizado.

Tabla 7. Valores de fango antes de digerir y después del digestor

	Fango antes digestor 04/06/15	Fango después digestor 04/06/2015	Muestra extraída reactor 11/06/15	Muestra extraída reactor 16/06/15
ST (g/l)	33,98	29,91	23,90	23,91
	34,42	29,89	18,55	18,10
SV (g/l)	28,15	23,10	17,89	10,18
	28,53	23,10	14,45	13,48
ST promedio (g/l)	34,42	29,9	21,23	21,01
SV promedio (g/l)	28,34	23,10	16,17	11,83

La tabla 7 muestra los resultados de los fangos de EDAR antes y después del digestor, donde se tiene fango sin purín añadido, porque era el arranque de la puesta en marcha del reactor, viéndose una reducción de ST y SV,

4.5 TRATAMIENTO DE PURÍN FRESCO DE GRANJA DE UTIEL

Una vez estabilizado el equipo después de probar que funcionaba, se procedió a realizar los ensayos. A continuación se describe cada ensayo realizado con purín fresco tomado de la granja utiel.

A continuación se describe el tratamiento del purín fresco.

Se extrajo 400 ml de la mezcla de fangos tratado o digerido de la etapa anterior, puesta en marcha del reactor, y se adicionó 400 ml de purín fresco al reactor, la temperatura de operación fue de 35°C, con un tiempo de retención hidráulica de 7 días.

Durante todo el tiempo que se llevó a cabo el ensayo, se extrajo una muestra 400 ml del purín digerido a la salida del reactor, y se añadían 400 ml de purín fresco a la entrada del reactor. Ambas muestras se analizaron para tener los parámetros de control del reactor.

A continuación se detalla la producción de biogás en diferentes periodos, durante todo el ensayo. Las tablas 8 y 9 muestran dichos resultados.

Tabla 8. Producción de biogás

Día	Horas	Volumen Gas (ml)	Producción (ml/h)
11-15 junio	96	200	2,08
16-jun.	24	64	2,67
18-jun.	18	60	3,33
23-26 junio	72	70	0,97
01-jul	7,00	22	3,14
01-jul	15,75	67,5	4,29
02-jul	7,75	37	4,77
03-jul	3,00	14	4,67
03-jul	4,50	22	4,89
06-jul	7,00	27	3,86
07-jul	15,00	46	3,07
07-jul	8,50	22	2,59
07-jul	16,50	47	2,85
08-jul	5,00	43	8,60
09-jul	16,00	71	4,44
09-jul	8,50	39	4,59
10-jul	15,50	42	2,71
Producción total de biogás	340	893,5	60,18

La tabla anterior, tabla 8, muestra los resultados obtenidos de la producción de biogás durante uno de los periodos de tiempo de operación del sistema anaerobio. Estos datos se reflejan en la grafica 15, donde se explica cómo ha sido la producción.

Producción de Biogás

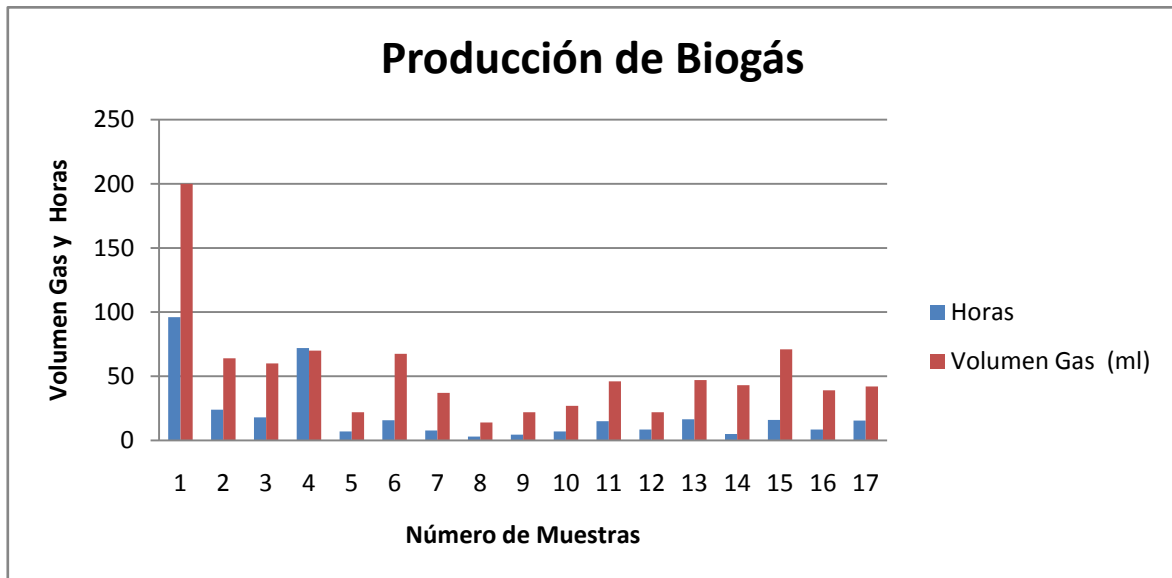


Figura 15. Gráfico producción de biogás, tiempo y volumen generado.

Observando la figura 15, podemos ver que el sistema de tratamiento anaerobio ha dado buen resultado, ya que se ha producido biogás casi todos los días de operación. Se puede notar por ejemplo el día 11 de Junio, en donde la producción de biogás ha sido la más alto y con buen rendimiento, ya que en 96 horas se han obtenido 200 mililitros de biogás, un dato importante que da fe de que el equipo y la generación de biogás han sido efectivos.

En la tabla 9, se muestran los datos reflejados en la gráfica 16, donde se ha producido biogás hasta 100 ml en 13 horas, siendo esta la mayor producción en ese periodo de tiempo de operación.

Tabla 9. Producción de biogás

Día	Horas	Volumen (ml)	Producción (ml/h)
10-12 julio	67,00	80	1,19
13-jul	16,50	17	1,03
14-jul	8,75	9	1,03
14-jul	15,75	13	0,83
15-jul	8	13	1,63
16-jul	6,5	42	6,46
16-jul	15,5	95	6,13
17-jul	13	100	7,69
20-jul	8,5	25	2,94
20-jul	16,5	44	2,67
21-jul	8,1	25	3,09
21-jul	15	49	3,27
22-jul	7,25	27	3,72
22-jul	15,75	60	3,81
23-jul	4,25	8	1,88
23-jul	4,25	47	11,06
23-jul	16	63	3,94
24-jul	3	9	3,00
Producción total de biogás	249,60	726,0	65,36

Producción de Biogás

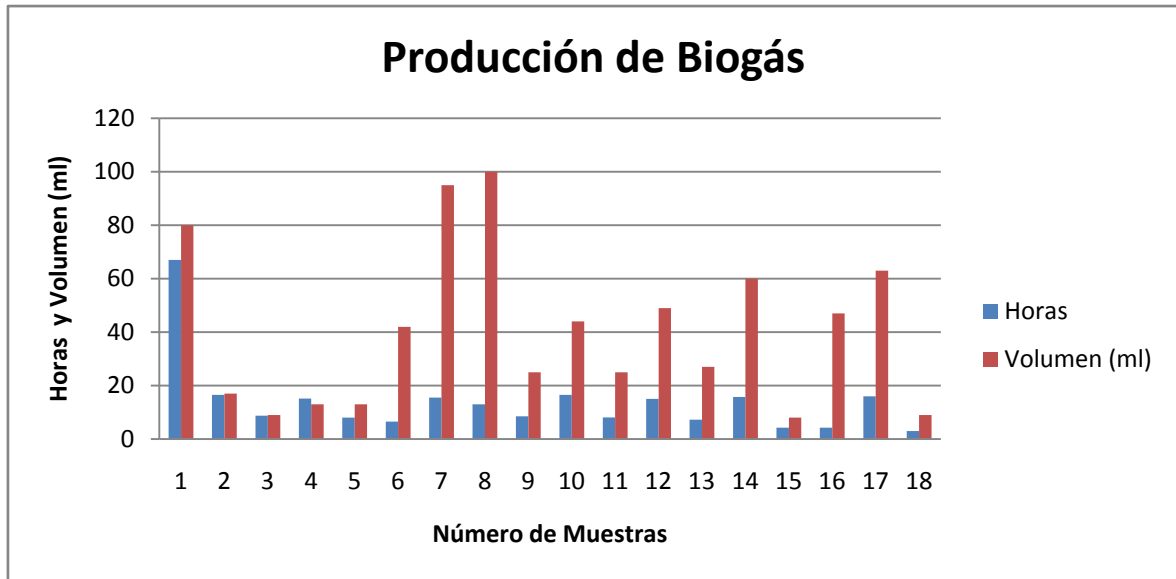


Figura 16. Gráfico producción de biogás, tiempo y volumen generado.

En la grafica 16, se continúa con la producción de biogás, aquí ya se cuantificó el segundo periodo de tiempo de operación del sistema anaerobio. En este periodo de tiempo al igual que el anterior, se puede ver la evolución del sistema, así como la producción de biogás. Aquí donde más biogás se ha generado ha sido el día 17 de julio, con una producción de 100 mililitros en 13 horas, dejando ver la efectividad del sistema para la producción de biogás.

Porcentaje de Metano en el Biogás

En la tabla 10 se muestran los valores de Metano obtenidos, cuantificados a nivel porcentual.

Tabla 10. Valores obtenidos de % CO₂

Fecha de valoración	23/06/2015	26/06/2015	10/07/2015	13/07/2015
Volumen Total	47	34,4	41,4	26,7
g K ₂ CO ₃	0,342	0,238	0,286	0,185
Moles K ₂ CO ₃	0,0024	0,0017	0,0021	0,0013
V CO ₂ (ml)	57,42	42,10	50,58	32,62
Vtotal valorado (ml)	100	70	81	81
% CO ₂	57,42	60,04	62,04	40,27
% CH ₄	42,58	39,96	37,55	59,73

La tabla 11, Contiene los resultados de los demás parámetros valorados de volumen total del HCl consumido en la valoración, gramos y moles de carbonato de potasio, volumen y porcentaje de CO₂, y porcentaje de metano, gas que nos interesa. Comparando los porcentajes de metanos producido en este TFM con los que generalmente se han obtenidos en otros estudios, se obtuvo un porcentaje aproximado de 59.73 %. Los valores generales de producción de metanos con purín porcino están entre los 50 y 80 % de metano.

Esto puede ser debido a que los fangos utilizados para la estabilización y climatización del reactor y las bacterias, hayan inhibido parte este.

Porcentaje de Metano en el Biogás

Tabla 11. Valores obtenidos de % CO₂

Fecha de valoración	17/07/2015	21/07/2015	22/07/2015
Volumen Total	44,5	39,3	28,4
g K ₂ CO ₃	0,308	0,272	0,20
Moles K ₂ CO ₃	0,0022	0,002	0,0014
V CO ₂ (ml)	54,37	48,017	34,70
Vtotal valorado (ml)	95	71	75,2
% CO ₂	57,2	67,63	46,14
% CH ₄	42,77	32,37	53,86

Como ejemplo de cálculo realizado se detalla a continuación la ecuación empleada para la determinación de la tabla anterior CO₂ y CH₄, los demás valores se calculan con las ecuaciones del apartado 3.2.4.1

$$\%CO_2 = \frac{100 * VCO_2}{V_{Total \text{ gas producido}}} \quad EC. 4$$

La tabla 11, contiene los resultados de los demás parámetros valorados de volumen de HCl, gramos y moles de carbonato de potasio, volumen y porcentaje de CO₂, y porcentaje de metano, gas que nos interesa.

Valores de purín antes de digerir y después del digestor

Tabla 12. Valores de purín antes de digerir y después del digestor

	Purín Fresco antes digestor 16/06/15	Muestra extraída reactor 8/07/15	Muestra extraída reactor 16/07/15
Crisol vacío (g)	52,55	77,62	51,47
	45,26	51,47	77,92
Antes de estufa	101,29	125,81	100,45
	94,35	100,02	126,86
Antes de mufla	53,72	78,34	52,20
	46,45	52,23	78,66
Después de mufla	52,83	77,85	51,77
	45,55	51,77	78,20
ST (g/l)	23,98	14,97	14,94
	24,42	15,54	15,10
SV (g/l)	18,15	10,26	8,98
	18,53	9,45	9,45
ST promedio (g/l)	18,34	9,86	9,21
SV promedio (g/l)	24,20	15,26	15,02

Como ejemplo de cálculo realizado se detalla a continuación las ecuaciones empleadas para la determinación de los ST y SV.

$$ST = \frac{P1 - P0}{V} \quad ; \quad SV = \frac{P1 - P2}{V}$$

La tabla 12 muestra los resultados del purín antes y después del digestor, donde se tiene purín del día 16/06/2015, viéndose una reducción de ST y SV dando lugar a una disminución de los parámetros valorados en muestra extraída del reactor los días 8 y 16 de 07/2015.

Tabla de Amoniaco del purín inicial y el extraído después del reactor

Tabla 13. Amoniaco del purín inicial y el extraído después del reactor (digerido)

	Purín 16/06/15 8/07/15	Muestra extraída reactor 16/07/15 8/07/15
mg/L NH₃-N	1171,96	1099,92
mg/L NH₃-N	1192,93	1104,20

Para calcular la cantidad de N-NH₄ se utiliza la ecuación siguiente:

$$\text{Miligramos/litro NH}_3\text{-N} = (V \text{ HCl} - V \text{ blanco}) * 0,1 * 1000 * 14,007 / 5 \text{ ml}$$

La tabla 13, muestra los resultados de la reducción del nitrógeno amoniacal, del purín inicial y el extraído después del reactor, en diferentes periodos de operación del sistema.

A continuación se presentan los resultados finales del tratamiento del purín, la tabla 14 detalla los valores de entrada iniciales y salida finales del reactor anaerobio.

Tabla 14. Resultados generales del tratamiento de Purín.

Purín sin digerir Inicial	Valores iniciales	Purín digerido final	Valores finales	% Eliminación
ST (g/l)	24,2	ST (g/l)	9,2	61,98
SV (g/l)	18,34	SV (g/l)	15,01	18,16
NH ₃ -N (mg/l)	1192,9	NH ₃ -N (mg/l)	1104,0	7,45
DQO (mg/l)	4959	DQO (mg/l)	2366	52,29
PH	7,41	PH	7,96	-
Conductividad (ms/cm)	13,96	Conductividad (ms/cm)	12,66	9,31

La tabla 14, muestra los resultados generales del tratamiento de efluentes de granja porcina digeridos en el sistema de tratamiento anaerobio, obteniendo así los valores del purín inicial y del ya digerido, donde podemos ver todos los parámetros valorados y comparar la entrada y salida de los contaminantes al digestor, confirmando así la eficacia del sistema de tratamiento y generación de biogás.

CAPÍTULO V. PRE DISEÑO A ESCALA INDUSTRIAL DEL REACTOR PUESTO EN MARCHA EN EL LABORATORIO

Para este pre diseño se consideró una granja real con una producción de 3000 cerdos de engorde, y que cada cerdo genera de 20 - 25 litros de purín. Tomando esta referencia como base de cálculo, se procede a la realización del los volúmenes del reactor a diseñar así como también la carga orgánica volumétrica y el tiempo de retención hidráulica.

5.1. CÁLCULOS DE DISEÑO

Caudal (Q) = 75 m³ *d

Volumen del Reactor (V) =?

Tiempo de Retención Hidráulica

(TRH) =5 días

Cálculo del volumen del reactor

VR = Q * TRH

VR = 75 m³/d * 5 d = 375 m³

Equivalente: VR = 375 m³

Cálculo de la Carga orgánica volumétrica (COV) de trabajo en el reactor.

La carga orgánica que entra al reactor dependerá de la DQO del purín a tratar, del caudal del purín que entra al reactor y del volumen del mismo.

$$COV = \frac{Q * S}{VR}$$

Donde:

COV= carga orgánica volumétrica (kg DQO/m³*d)

Q = Caudal afluyente (m³/d)

S= Concentración de sustrato afluyente (kg DQO/m³)

VR= Volumen del reactor (m³)

Las características iniciales del purín a tratar en este pre diseño tienen los siguientes valores, se muestran en la tabla 15.

Tabla 15. Características Iniciales del Purín de cerdo de engorde

Composiciones del purín	Valores
SST (mg/l)	25166
SSV (mg/l)	21500
NKT (mg/l)	1450
N-NH ₄ (mg/l)	1270
DQO (mg/l)	38544

Cálculo de la carga orgánica volumétrica del reactor

$$COV = \frac{75 \frac{m^3}{d} * \frac{38.544 kgDQO}{L} * \frac{1l}{0.001 m^3}}{375 m^3} = 7.70 \frac{kgDQO}{d/m^3}$$

Tomando en cuenta los datos obtenidos de laboratorio, procedemos a calcular los parámetros del pre diseño a escala real.

Cálculo de eliminación de ST a escala real

$$ST = 25166 * 0.6198 = 15598 \text{ mg/l}$$

Cálculo de eliminación de SV a escala real

$$SV = 21500 * 0.583241395 = 12539.69 \text{ mg/l}$$

Cálculo de eliminación de N-NH₄ a escala real

$$N-NH_4 = 1270 * 0.92547244 = 1175.35 \text{ mg/l}$$

$$\text{DQO} = 38544 * 0.522887679 = 20154.18 \text{ mg/l}$$

Después de a ver reducido los componentes de líquido porcino considerado a tratar a escala real, se procede a calcular el volumen total del biogás que se genera en este pre diseño.

Partiendo de los datos obtenidos en el laboratorio.

En 2000 ml de purín se generan 1620 ml de biogás en un tiempo máximo de 43 días.

Como referencia del la puesta en marcha del laboratorio antes mencionada.

Volumen de biogás generado en laboratorio:

$$V = 0.03766 \text{ l/d equivalente a } = 0.00003766 \text{ m}^3/\text{d}$$

Cálculo de Volumen total que se genera a escala real:

$$V_{\text{Tb}} = \text{DQO Eliminada} * 1.6 \text{ mg de biogás /mgDQO eliminada}$$

$$V_{\text{Biogás}} = 18389.82 \text{ mg/l} * 1.6 \text{ mg biogás /mgDQO} = 29423.74 \text{ mg de biogás/litro}$$

$$V_{\text{Biogás}} = 29.42374 \text{ kg/l} * 1/0.001 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{Biogás}} = 29423.74 \text{ kg} / \text{m}^3 \text{ DQO}$$

Valores obtenidos en el Pre diseño

Tabla 16. Resultados del Pre diseño

Composiciones del purín	Valores iniciales	Valores finales
SST (mg/l)	25166	15598.8
SSV (mg/l)	21500	12539.69
NKT (mg/l)	1450	1373.28
N-NH ₄ (mg/l)	1270	1175.35
DQO (mg/l)	38544	20154.18
Volumen total de biogás (kg/m ³ DQO)	-	29423.71
Volumen de CH ₄ kg/m ³ DQO	-	20596.67
Volumen CO ₂ kg/m ³	-	8827.11

La tabla 16, muestra los resultados del pre diseño de una planta de tratamiento a gran escala o escala industrial y se puede ver que se cumple lo esperado, es decir que hay una reducción de los contaminantes y a su vez una generación de biogás considerable. Esto indica que el proyecto sería factible a gran escala.

CONCLUSIONES

- 1) La digestión anaerobia como alternativa de tratamiento de efluentes, representan una excelente alternativa para la sustitución de combustibles fósiles no renovables, a la vez que ofrece soluciones eficientes, que dan respuesta a la contaminación de las aguas residuales.
- 2) El tratamiento anaerobio para el tratamiento de efluentes, representa una excelente alternativa para la producción de un combustible (biogás) que puede sustituir combustibles fósiles no renovables, a la vez que ofrece soluciones eficientes, que dan repuesta a la contaminación de las aguas residuales.
- 3) Durante aproximadamente dos meses se realizaron pruebas de tratamiento anaerobio en planta de laboratorio para la producción de biogás, incluyendo el montaje y la puesta en marcha de la planta.
- 4) La puesta en marcha de la planta de laboratorio se realizó empleando fango de digestión anaerobia de EDAR, obteniendo una reducción tanto en los ST como los SV de dicho fango.
- 5) Las bacterias metanógenos del fango de digestión se fueron adaptando gradualmente al purín a tratar.
- 6) El reactor se alimentó con purín empleado de las siguientes condiciones de operación: tiempo de retención hidráulico de 35 días y carga orgánica de 0.14 mg DQO/d/ml.
- 7) En cuanto a la producción de biogás utilizando este reactor, se puede concluir diciendo que ha sido efectivo, ya que se han obtenido cantidades aceptables de biogás de (1619,5 ml), aun con todos los inconvenientes presentados durante el arranque de la planta de laboratorio.
- 8) Se han determinado porcentajes de metano en el biogás entre 53,86 y 59,73%, por lo que se considera adecuado la composición del biogás para la generación de energía.

9) Los resultados de eliminación de DQO del purín, también han sido buenos, ya que se ha reducido aproximadamente el 52 % de DQO.

10) Se necesitan ensayos más largos para una mejor obtención y comprobación de datos que permitan optimizar las condiciones de operación del reactor.

11) Uno de los parámetros más monitorizados en procesos anaerobios, tanto a escala real como a escala de laboratorio, es la producción de biogás, Por lo que en este TFM se considero como un indicador del funcionamiento global del proceso. También la composición de biogás se puede considerar un indicador más útil, en especial la proporción relativa de CO_2 y CH_4 .

BIBLIOGRAFÍA

- 1) Campos Pozuelo, E. (2001). Optimización de la digestión anaerobia de purines de cerdo mediante codigestión con residuos orgánicos de la industria agroalimentaria.
- 2) Flotats, X., Bonmatí, A., Campos, E., & Antúnez, M. (1999). Ensayos en discontinuo de codigestión anaerobia termofílica de purines de cerdo y lodos residuales. Efecto del amonio. *Información tecnológica*, 10(1), 79-85.
- 3) Patrick, S. (2007). Producing Biogas out of Waste Water. Technische Universitat Wien.
- 4) Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medioambiente.
<http://www.magrama.gob.es/es/ganaderia/temas/produccion-y-mercados-ganaderos/sectores-ganaderos/porcino/>
- 5) Manejo Y Producción de Porcino Departament de Ciencia Animal y de los Alimentos Unidad de Ciencia Animal Facultad de Veterinaria UAB.
- 6) Manual de Buenas Prácticas de Producción en Granjas Porcícolas Confederación de Porcicultores Mexicanos, A.C
- 7) Harris, D. L. ("Hank"). Multi-site Pig Production. Department of Microbiology College of Agriculture and Department of Veterinary Diagnostic and Production Animal Medicine College of Veterinary Medicine Iowa State University.
- 8) Tamés Valiente, P. J. 2013. Estudio de los factores que afectan a la emisión potencial de metano producido por el purín en granjas comerciales porcinas. Editorial Valencia, Universidad Politécnica de Valencia.

- 9) López, C.; Torres Salvador, M.; Germán, A.; Aarnink, A. 2010. Control of particulate matter emissions from poultry and pig houses = Control de las emisiones de material particulado de granjasavícolas y porcinas. Editorial Valencia, Universidad Politécnica de Valencia, Universidad Politécnica de Valencia. Departamento de Ciencia Animal.
- 10) Handelsblatt - Die Welt in Zahlen (2005).
- 11) Steinfeld, H.; P. Gerber; T. Wassenaar; V. Castel; M. Rosales; C. de Haan. 2006. Livestock's long shadow. Informe Food and Agriculture Organization. FAO.
- 12) *FAO, Roger B.*
- 13) <http://www.fao.org/>
- 14) <http://www.adap.org.es/>
- 15) «BOE» núm. 58, de 8 de marzo de 2000, páginas 9505 a 9512 (8 págs.) BOE-A-2000-4447 Real Decreto 324/2000, de 3 de marzo, por el que se establecen normas básicas de ordenación de las explotaciones porcinas. Ministerio de la Presidencia.
- 16) J. Coma y J. Bonet. 2004. Producción Ganadera y Contaminación Ambiental. Grupo Vall Companys.
- 17) BREF (2003). Reference document on best available techniques for intensive rearing of poultry and pigs. Integrated pollution prevention and control. European Commission.

- 18) Moncayo; G.2011.
- 19) Maison, E. M. (1998). Generación de residuos de ganadería vacuna (purines) en Asturias: problemática y tratamiento. Universidad de Oviedo.
- 20) Sierra A. 2013. Obtención de Biogás a partir de Gallinaza Producida en la granja Bellavista-Horizontes a Servicio de Incubadora Santander S.A. Universidad Industrial de Santander. Escuela de Química.
- 21) Maranon E. Degradación de residuos de ganadería vacuna (purines) en Asturias Problemática y tratamiento. Universidad de Oviedo.
- 22) Aplicación de Sistemas de Tratamiento de Residuos Ganaderos en Gran Canaria. Consejería de Agricultura, Ganadería y Pesca Servicio Técnico de Extensión Agraria. Cabildo de Gran Canarias.
- 23) Kornboonraksa, T., & Lee, S. H. (2009). Factors affecting the performance of membrane bioreactor for piggery wastewater treatment. *Bioresource technology*, 100(12), 2926-2932.
- 24) Borowski, S., & Kubacki, P. (2015). Co-digestion of pig slaughterhouse waste with sewage sludge. *Waste Management*, 40, 119-126.
- 25) Zhang, W., Wei, Q., Wu, S., Qi, D., Li, W., Zuo, Z., & Dong, R. (2014). Batch anaerobic co-digestion of pig manure with dewatered sewage sludge under mesophilic conditions. *Applied Energy*, 128, 175-183.

APÉNDICE

Equipos y ensayos en el laboratorio

