

**UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**



**PROPUESTA DE APROVECHAMIENTO DEL BIOGÁS
OBTENIDO A PARTIR DEL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS
RESIDUALES GENERADAS EN LA EMPRESA RICO CERDO
F&G S.A.C., PARA SU USO COMO BIOCOMBUSTIBLE EN
LOS SISTEMAS DE CALEFACCIÓN DE LAS ÁREAS DE
MATERNIDAD**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO INDUSTRIAL**

AUTOR

PAIVA PERICHE, PERCY FERNANDO

Chiclayo, 12 de Abril del 2016

**“PROPUESTA DE APROVECHAMIENTO DEL BIOGÁS
OBTENIDO A PARTIR DEL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS
RESIDUALES GENERADAS EN LA EMPRESA RICO CERDO
F&G S.A.C., PARA SU USO COMO BIOCOMBUSTIBLE EN
LOS SISTEMAS DE CALEFACCIÓN DE LAS ÁREAS DE
MATERNIDAD”**

POR:

PAIVA PERICHE PERCY FERNANDO

**Presentada a la Facultad de Ingeniería de la
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
para optar el título de
INGENIERO INDUSTRIAL**

APROBADA POR EL JURADO INTEGRADO POR

Ing. María Luisa Espinoza García Urrutia
PRESIDENTE

MSc. Edith Anabelle Zegarra González
SECRETARIO

Ing. Vanessa Lizet Castro Delgado
ASESOR

DEDICATORIA

A:

Dios, por las fuerzas que me brinda cada día para poder cumplir mis metas, y hacerme mejor en el camino de la vida.

Mis padres Nancy y José Mercedes, por el constante apoyo brindado, siendo ellos los escultores en la formación de mi vida. Sin ellos nada de esto hubiere sido posible.

La memoria de mi abuela Dionicia porque sé que de donde ella está me vigila y protege para poder ser cada día una mejor persona, así como lo hacía cuando estaba a mi lado.

A mis abuelos Teófilo, Mavila y Eugenio. Ya que aún, gracias a Dios, se encuentran formando parte de mi vida.

A mi hermano Franco, porque día a día me brindó apoyo anímicamente para poder terminar este proyecto, al igual que mis hermanos Edward's y Eder.

AGRADECIMIENTOS

A:

Los representantes de la Empresa RICO CERDO F&G, por el apoyo constante para poder desarrollar de la mejor manera mi tesis. Especialmente al Sr. Carlos Fernández, por haber confiado en mí para el desarrollo de este proyecto.

Mi asesora Dra. Zaida Chávez Romero, por la ayuda incondicional y dedicación en la elaboración de este trabajo, por su apoyo y esmero en el término del mismo. Y a Ing. Vanessa Lizet Castro Delgado por el apoyo brindado.

Sr. Edmundo Rodríguez por haberme apoyado con información y consejos, para el desarrollo de este trabajo.

RESUMEN

El tema de la presente investigación se centra en la importancia de proponer el aprovechamiento del biogás obtenido a partir del tratamiento de las aguas residuales generadas en la Empresa Rico Cerdo F&G S.A.C., para su uso en los Sistema de Calefacción de las dos Áreas de Maternidad". Estas aguas residuales o llamado comúnmente como purín de cerdo, que se generan en dicha granja, contribuyen directamente a la contaminación ambiental, específicamente a los suelos. Anualmente se le da una limpieza a la posa de oxidación 01 donde se almacenan estas aguas residuales con un costo anual de \$ 9 957,75. Es por ello que se trataron estas aguas residuales, para obtener un combustible llamado biogás, y reemplazarlos por el GLP que se usa en los sistemas de calefacción de las áreas de maternidad.

El trabajo propio de esta investigación consistió en dar una solución a esta problemática, alcanzando los objetivos planteados con la finalidad de establecer una solución a los problemas que se presentaron. Para ello en primer lugar se realizó la caracterización del agua residual de la Empresa Rico Cerdo F&G S.A.C. El punto de muestreo en donde se recolectó la muestra de agua residual, fue en la tubería de descarga del efluente de la fosa de oxidación 01, en esta fosa es en donde se concentran todas aguas residuales provenientes de todas las etapas productivas de la granja. Se enviaron 2 botellas de 1 litro al Laboratorio de Agua, Suelo, Medioambiente y Fertirriego de la Facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional Agraria la Molina, obteniendo los siguientes resultados: un pH de 6,96; DQO de 22210 mg/l, DBO₅ de 250 mg/l, fósforo total de 149,30 y nitrógeno total de 621,26 mg/l. Concluyendo que el agua residual es un efluente totalmente contaminante, debido a su elevada carga orgánica. Posteriormente se estimó el consumo de gas (GLP) del sistema de calefacción de las dos áreas de maternidad, obteniendo un consumo promedio de 227,21 m³ al mes de GLP, generando un costo anual de \$ 5 977,67. Teniendo este dato se propuso el diseño del biodigestor tipo laguna cubierta para la obtención de biogás; este biodigestor produce en promedio 8 633,4 m³ biogás al mes (80% metano y 20% CO₂), abasteciendo al 100% el sistema de calefacción de las áreas de maternidad y generando un sobrante de biogás en promedio de 6 409,72 m³/mes, que será vendido generando ingresos anuales a la granja de \$ 123 066,6.

Para finalizar el sistema de biodigestión propuesto para la obtención de biogás, generó una inversión inicial de \$ 110 876,56. El cual recién en el 2 año de su puesta en marcha, podrá recuperar su inversión.

Palabras claves: biogás, aprovechamiento, aguas residuales

ABSTRACT

The subject of this research focuses on the importance of proposing the use of biogas obtained from the treatment of wastewater generated in the Company Rico Cerdo F&G S.A.C., for use in the heating system of the two areas of Motherhood” . These sewage or commonly referred to as pig slurry, generated in that farm, directly contribute to environmental pollution, specifically to soils. A yearly cleaning is given to the oxidation poses 01. Annual cost \$ 9 957.75 sewage is stored. That is why paragraph wastewater treated this UN Called Get biogas fuel, to replace LPG That US Heating systems in the areas of motherhood.

The own research work is to provide a solution to this problem, where the objectives were achieved in order to establish a solution to the problems that arose. For this first characterization of wastewater Company Rico Cerdo F&G, it was performed to obtain a pH of 6.96; DQO 22210 mg / l, DBO₅ 250 mg / l total phosphorus and 149.30 621.26 Total nitrogen mg / l. concluding that the wastewater is fully polluting effluent, due to high organic load. Subsequently consumption gas (LPG) was estimated for the heating system of the two areas of maternity, obtaining an average consumption of 227.21 m³ LPG generating an annual cost of \$ 5 977, 67. Taking this type design covered lagoon digester for biogas was proposed; This digester produces an average of 8 633.4 m³ biogas per month , fully supplying heating systems in the areas of maternity and generating a surplus of biogas on average of 7450 m³ / month , which will be generating annual revenues farm to \$ 123 066,6.

Finally biodigestion system proposed for biogas, I generate an initial investment of \$ 110 876,56. Which only in the three years of its implementation, you will recoup their investment.

Keywords: biogas, utilization, wastewater

ÍNDICE

CARATULA	i
CARATULA CON JURADO	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
RESUMEN	v
ABSTRACT	vi
ÍNDICE	vii
I. INTRODUCCIÓN	17
II. MARCO DE REFERENCIA DEL PROBLEMA	
2.1.ANTECEDENTES DEL PROBLEMA.....	19
2.2.FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	22
2.2.1. AGUAS RESIDUALES.....	22
2.2.2. TIPOS DE TRATAMIENTOS PARA AGUAS RESIDUALES.....	22
2.2.3. MARCO LEGAL DEL MINAM PARA LOS LIMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE LOS EFLUENTES DE ACTIVIDADES AGROINDUSTRIALES.....	24
2.2.4. FUNDAMENTOS DEL PROCESO DE BIODIGESTIÓN.....	25
2.2.5. BASES TÉCNICAS DEL PROCESO DE BIODIGESTION.....	26
2.2.5.1. Masa Seca	27
2.2.5.2. Masa Volátil	28
2.2.5.3. Carga Orgánica Volumétrica (COV)	28
2.2.5.4. Tiempo de Retención Hidráulica (THR).....	29

2.2.5.5. Acidez	30
2.2.5.6. Alcalinidad	31
2.2.5.7. Porcentaje de degradación	31
2.2.6. PRODUCCIÓN DE BIOGÁS DE ESTIÉRCOL DE ANIMALES.....	32
2.2.7. ESTIÉRCOL DE CERDO	32
2.2.8. APROVECHAMIENTO DEL ESTIÉRCOL DE CERDO	32
2.2.9. BIODIGESTORES DE USO AGROPECUARIO	33
2.2.10. CALEFACCIÓN EN INSTALACIONES PORCINAS	37

III. RESULTADOS

3.1. CARACTERIZACION DEL AGUA RESIDUAL O PURIN DE CERDO EN LA EMPRESA RICO CERDO F&G	40
3.1.1. LA EMPRESA	40
3.1.1.1. Cantidad de cerdos en la granja Rico Cerdo F&G	42
3.1.2. DESCRIPCION DEL PROCESO DE CRIANZA DE CERDOS	43
3.1.3. LIMPIEZA Y MANEJO DE EXCRETAS	45
3.1.4. PRODUCCION DE AGUA RESIDUAL O PURIN DE CERDO EN LA GRANJA	47
3.1.5. CAPACIDAD MÁXIMA Y CAPACIDAD UTILIZADA EN LAS DIFERENTES ÁREAS PRODUCTIVAS EN LA GRANJA RICO CERDO F&G S.A.C.	51
3.1.6. CARACTERIZACION DEL AGUA RESIDUAL O PURIN DE CERDO...52	
3.1.6.1. Requisitos para toma de muestra de agua residual y su preservación según el Ministerio del Ambiente	52
3.1.6.2. Consideraciones del Laboratorio de la Universidad Nacional Agraria La Molina, para el envío de la muestra de agua residual	53
3.1.6.3. Punto de muestreo para la recolección de muestra	53
3.1.6.4. Procedimiento para la Toma de Muestra de Agua residual	54

3.1.6.5. Parámetros a analizar del agua residual de la Granja Rico Cerdo F&G....	55
3.1.6.6. Resultados y Cuadro Comparativo entre los resultados del agua residual y los Límites Máximo Permisible	56
3.2. ESTIMACIÓN DEL CONSUMO DE GAS EN EL SISTEMA DE CALEFACCION DE LAS ÁREAS DE MATERNIDAD	58
3.2.1. ÁREAS DE MATERNIDAD	58
3.2.2. CONSIDERACIONES ACTUALES PARA CALEFACCION EN LECHONES RECIEN NACIDOS EN LA GRANJA RICO CERDO F&G.	58
3.2.3. CALEFACCION ACTUAL EN LAS ÁREAS DE MATERNIDAD	59
3.2.4. HORAS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE CALEFACCION..	61
3.2.5. CANTIDAD DE PARTOS Y LECHONES NACIDOS	61
3.2.6. CONSUMO MENSUAL DE GAS (GLP) DE ENERO A JUNIO DEL 2015, USADO EN EL SISTEMA DE CALEFACCION DE LAS ÁREAS DE MATERNIDAD	62
3.3. PROPUESTA Y DISEÑO DEL SISTEMA DE BIODIGESTIÓN PARA LA OBTENCIÓN DE BIOGÁS	64
3.3.1. DETERMINAR Y SELECCIONAR EL TIPO DE SISTEMA DE BIODIGESTIÓN A USARSE EN LA GRANJA RICO CERDO F&G, PARA LA OBTENCIÓN DE BIOGÁS	64
3.3.1.1. ANTECEDENTES	64
3.3.1.2. SELECCIÓN DEL SISTEMA DE BIODIGESTIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE RESIDUOS GANADEROS	65
3.3.1.3. MÉTODO DE FACTORES PONDERADOS	66
3.3.2. PROPUESTA DEL SISTEMA DE BIODIGESTION ELEGIDO PARA LAS AGUAS RESIDUALES DE LA GRANJA RICO CERDO F&G	68
3.3.2.1. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE BIODIGESTIÓN PROPUESTO....	68
3.3.2.2. PROCESO PRODUCTIVO	70

3.3.2.3.DISEÑO DEL SISTEMA PROPUESTO PARA LA OBTENCIÓN DE BIOGÁS	72
3.3.2.3.1. Especificaciones del tanque de alimentación	73
3.3.2.3.2. Especificaciones del biodigestor tipo laguna cubierta	76
3.3.2.3.3. Especificaciones de la Laguna de descarga	84
3.3.2.4. ESTRUCTURAS AUXILIARES	87
3.3.2.4.1. Tuberías de alimentación y descarga	87
3.3.2.4.2. Tuberías de captación de biogás	89
3.3.2.4.3. Válvula de seguridad	90
3.3.2.4.4. Sistema de agitación	91
3.3.2.4.5. Medidor de caudal de biogás	94
3.3.2.4.6. Antorcha o quemador de biogás	96
3.3.2.4.7. Filtro de retención de ácido sulfhídrico (H ₂ S)	97
3.3.2.5. BALANCE DE MASA EN LAS ETAPAS DE BIODIGESTIÓN PARA OBTENCIÓN DE BIOGÁS	99
3.3.2.6. CÁLCULO DE LAS ÁREAS SUPERFICIALES MEDIANTE EL MÉTODO DE GUERCHET	103
3.3.2.7. INDICADORES DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS DEL SISTEMA DE BIODIGESTIÓN	104
3.3.2.8. DEMANDA ENERGÉTICA A CUBRIR	105
3.4. ANALISIS COSTO BENEFICIO	106
3.4.1. COSTOS DE INVERSION DE MEJORA	106

3.4.2. ACCESORIOS Y EQUIPOS PARA EL FUNCIONAMIENTO DEL TRATAMIENTO DE BIODIGESTION PARA OBTENCION DE BIOGÁS.....	108
3.4.3. INVERSIONES	109
3.4.3.1. INVERSIÓN INTANGIBLE	109
3.4.3.2. CAPITAL DE TRABAJO	109
3.4.3.3. INVERSIÓN TOTAL	110
3.4.3.4. GASTOS ADMINISTRATIVOS PARA IMPLANTAR LOS CAMBIOS.....	110
3.4.3.5. GASTO ANUAL DE LIMPIEZA DE LA LAGUNA DE OXIDACIÓN 01.....	111
3.4.3.6. COSTO BENEFICIO	112
IV. CONCLUSIONES	114
V. RECOMENDACIONES	115
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	116
VII. ANEXOS	118

INDICE DE PLANOS

Plano N° 01: Plano general de la granja Rico Cerdo F&G	A-1
Plano N° 02: Plano del sistema de biodigestión. Vista superior.	A-2
Plano N° 03: Plano del sistema de biodigestión. Sección transversal A-X	A-3
Plano N° 04: Plano del sistema de biodigestión. Sección transversal A-Y	A-4
Plano N° 05 Plano general de la granja Rico Cerdo F&G, incluyendo el sistema de biodigestión propuesto.	A-5

INDICE DE TABLAS

Tabla N° 01: Límites máximos permisibles (LMP) para la descarga de efluentes líquidos en alcantarillado de la actividad agroindustrial tales como planta de canales y plantas de beneficio, incluyendo los mataderos en promedio diario.	24
Tabla N° 02: Temperaturas de proceso en la digestión anaeróbica	26
Tabla N° 03: Contenido de agua en sustratos	28
Tabla n° 04: Producción de biogás estimado según el tipo de estiércol	32
Tabla N° 05: Rango de temperatura optimo en alojamientos de Maternidad	37
Tabla N° 06: Cantidad mensual de cerdos de la granja Rico Cerdo F&G (2014)	42
Tabla N° 07: Producción diaria de excretas según el tipo de cerdo	47
Tabla N° 08: Cantidad mensual de excretas por área productiva en la granja Rico Cerdo F&G (2014)	48
Tabla N° 09: Consumo mensual de agua subterránea para limpieza de excretas en las áreas productivas de la granja Rico Cerdo F&G (2014)	49
Tabla N° 10: Cantidad aproximada de agua residual o purín de cerdo generado en la granja Rico Cerdo F&G en el año 2014	50
Tabla N° 11: Capacidad máxima de las áreas productivas de la granja	51
Tabla N° 12: Requisitos para toma de muestra de agua residual y preservación de las muestras para el monitoreo	52
Tabla N° 13: Comparación entre análisis de agua residual (purín de cerdo) y LMP	56
Tabla N° 14: Especificaciones técnicas del calentador infrarrojo a gas	60
Tabla N° 15: Temperaturas máxima, media y mínima en la ciudad de Reque en el año 2014	61
Tabla N° 16: Cantidad de marranas y lechones nacidos en las áreas de maternidad de Enero – Junio del 2015	62

Tabla N° 17: Consumo mensual de gas (GLP) para calefacción en las áreas de maternidad	63
Tabla N° 18: Características del biodigestor tubular o flujo pistón y el biodigestor tipo laguna cubierta	64
Tabla N° 19: Ponderación de factores a analizar	66
Tabla N°20: Calificación de los dos biodigestores usados para granjas agropecuarias	67
Tabla N° 21: Caudal máximo, promedio y mínimo de agua residual o purín de cerdo, que se registró en el año 2014	74
Tabla N° 22: Dimensiones del tanque de alimentación	75
Tabla N° 23: Dimensiones del sistema de rejillas	76
Tabla N° 24: Tiempo de retención hidráulica (TRH) en relación a la temperatura ambiental	77
Tabla N° 25: Dimensiones de la laguna del biodigestor tipo laguna cubierta	81
Tabla N° 26: Dimensiones de la geomembrana EPDM para impermeabilizar la laguna del biodigestor,	83
Tabla N° 27: Dimensiones de la geomembrana EPDM para cubierta del biodigestor,	84
Tabla N° 28: Dimensiones de la laguna de descarga	86
Tabla N° 29: Dimensiones de la geomembrana EPDM para impermeabilizar la laguna de descarga.	87
Tabla N° 30: Dimensiones de los pozos de control de biol	89
Tabla N° 31: Ficha técnica del agitador AG-1, a usarse en el biodigestor	93
Tabla N° 32: Ficha técnica del medidor de gas	95
Tabla N° 33: Modelos de filtros de retención de ácido sulfhídrico	98
Tabla N° 34: Información usual sobre las características y cantidad de residuos del desbaste.	99
Tabla N° 35: Método de guerchet para el cálculo del área total a necesitar en el sistema de biodigestión	103
Tabla N° 36: Biogás sobrante	105
Tabla N° 37: Inversión en obras para el sistema de biodigestión	107

Tabla N° 38: Especificaciones de accesorios y equipos	108
Tabla N° 39: Inversión intangible	109
Tabla N° 40: Capital de trabajo	109
Tabla N° 41: Inversión total	110
Tabla N° 42: áreas y puestos	110
Tabla N° 43: Sueldos anuales	111
Tabla N° 44: Costo para la contratación de excavadora para limpieza de la laguna de oxidación 01	111
Tabla N° 45: Costo beneficio del proyecto	113

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 01: Sistemas de tratamiento de aguas residuales	23
Figura N° 02: Composición típica del biogás	25
Figura N° 03: Biodigestor de cúpula fija	34
Figura N° 04: Biodigestor de tambor flotante	35
Figura N° 05: Biodigestor tubular o de flujo pistón	36
Figura N° 06: Biodigestor tipo laguna cubierta	37
Figura N° 07: Instalación de calefacción por suelo radiante	38
Figura N° 08: Calefacción por calentadores infrarrojos	39
Figura N° 09: Mapa de ubicación de la Granja Rico Cerdo F&G	40
Figura N° 10: Frontis de la empresa Rico Cerdo F&G – La Clake, Reque	41
Figura N° 11: Diagrama de proceso para la crianza de cerdos	44
Figura N° 12: Limpieza de excretas en las diferentes áreas productivas de la granja Rico Cerdo F&G	45
Figura N° 13: Fosa de oxidación 01	46

Figura N° 14: Fosa de oxidación 02	46
Figura N° 15: Cantidad estimada de agua residual o purín de cerdo en la granja en el año 2014	50
Figura N° 16: Punto de muestreo del agua residual	54
Figura N° 17: Área de maternidad de la Granja Rico Cerdo F&G	58
Figura N° 18: Calentador infrarrojo usados en las áreas de maternidad	60
Figura N° 19: Diagrama de proceso del sistema de biodigestión para la obtención de biogás.	71
Figura N° 20: Diagrama de operaciones del sistema de biodigestión para obtener biogás.	72
Figura N° 21: Rejillas usadas en tanques de alimentación de sistemas de biodigestión	75
Figura N° 22: Medidas de los taludes para biodigestores de laguna cubierta	79
Figura N° 23: Vista superior de una pirámide truncada rectangular	80
Figura N° 24: Membrana EPDM para biodigestores de laguna cubierta	83
Figura N° 25: Pozo de control para la descarga del efluente del biodigestor	88
Figura N° 26: Diagrama esquemático para la captación de biogás	90
Figura N° 27: Válvula de seguridad en biodigestores tropicalizados	91
Figura N° 28: Ubicación de los agitadores en el biodigestor	92
Figura N° 29: Agitador AG-1 a usarse en el biodigestor	93
Figura N° 30: Ubicación conceptual del agitador en el muro perimétrico	94
Figura N° 31: Ubicación conceptual del medidor de caudal	95
Figura N° 32: Medidor de biogás	96
Figura N° 33: Antorcha o quemador de biogás	97
Figura N° 34: Filtro de retención de ácidos sulfhídrico	99

I. INTRODUCCIÓN

Diversas actividades muy ligadas a nuestra economía nacional, como los rubros agropecuarios generan residuos de origen orgánico en cantidades abundantes y su eliminación, hasta hoy, es un problema de difícil solución.

Por otra parte, los problemas energéticos que está afrontando la humanidad en las últimas décadas, hace que se empiecen a mirar con simpatía y hasta con aspiraciones de soluciones, las energías alternativas, mucho más limpias, ecológicamente amigables, y hasta más económicas, en algunos casos.

Si asociamos estas dos problemáticas, la ambiental y la energética, podemos encontrar en los Tratamientos Anaerobios de Biodigestión de residuos una alternativa sumamente válida para satisfacer ambas demandas a partir de la generación de un biogás con alto contenido en metano que puede servir para iluminar, calefacción y convertirlo en energía eléctrica a través de un generador, etc.; y por otra parte, se genera un fango (biol) que contiene una elevada cantidad de materia orgánica y nutrientes concentrados como potasio, fósforo, nitrógeno, etc., lo que lo identifica como un excelente abono natural. De esta forma se pueden tratar esos desechos, sin impactos ambientales negativos.

Las granjas porcinas se caracterizan por un método de producción intensivo, bajo el módulo de estabulación completa. Esta estabulación implica la generación de aguas residuales producto de la acumulación del 100% de las excretas generada por los cerdos y el agua de lavado de los pisos de las diversas áreas productivas de la granja.

Según la empresa alemana Aqua Limpia (AQL), existen en el mundo granjas porcinas que han implementado un sistema de tratamiento de sus aguas residuales. Dicha empresa fue contratada para realizar estudios de factibilidad, diseños detallados y supervisión de la construcción de biodigestores para el aprovechamiento del estiércol que se produce en 14 granjas porcinas ubicadas en diferentes provincias de la República de Costa Rica. El estiércol se aprovecha para la producción de biogás usado para la calefacción de las áreas de maternidad y producción de fertilizante orgánico.

La empresa “RICO CERDO F&G S.A.C.”, dedicada a la producción y explotación porcina en la región Lambayeque, está ubicada en la ciudad de Reque, iniciando sus actividades en el año 2011. Esta empresa presenta un problema de disposición de aguas residuales provenientes del lavado diario de sus diferentes áreas productivas: gestación, maternidad, parrilla, engorde y crecimiento. Con la finalidad de remover todas las excretas (heces y orina) para un buena higiene en la granja, las aguas residuales son conducidas por medio de drenaje a una poza de oxidación de un área aproximada de 1575 m². Al superar la capacidad de esta poza, una segunda poza de un área aproximada de 196m², se instaló para almacenar la cantidad de aguas residuales generadas; que a través de tuberías con ayuda de una motobomba con conducidas de la primera a la segunda poza. A la salida de la poza 2 el agua residual se pierde en los terrenos cercanos a la granja. Debido a su elevada carga contaminante, que contienen elevadas concentraciones de sólidos suspendidos, materia orgánica, nitrógeno, fósforo y patógenos, su disposición final causa un severo daño ambiental.

Por otro lado en las áreas de maternidad de la granja Rico Cerdo F&G se encuentran instaladas desde Enero del 2015, lámparas calefactoras a gas (GLP) para los cerdos recién nacidos.

Ante esta problemática se formuló la siguiente pregunta: ¿En qué medida el tratamiento de las aguas residuales de la empresa Rico Cerdo permitirá la generación de biogás para su uso como biocombustible en los sistemas de calefacción del área de maternidad? Con el objetivo de proponer el aprovechamiento del biogás obtenido a partir del tratamiento de las aguas residuales de la Empresa Rico Cerdo F&G, para su uso en el sistema de calefacción de las áreas de maternidad. Para el desarrollo de la investigación se realizó la caracterización del agua residual de la Empresa Rico Cerdo F&G S.A.C.; se propuso y diseñó el sistema de tratamiento de aguas residuales para la obtención de biogás y su uso en el sistema de calefacción para las áreas de maternidad; se propuso y estimó el consumo energético del sistema de calefacción de las áreas de maternidad; y finalmente se realizó un análisis costo-beneficio de la propuesta a implementar.

II. MARCO DE REFERENCIA DEL PROBLEMA

2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

Viñas (2012), en su investigación: “*Tecnología para el tratamiento y aprovechamiento de residuales porcinos*” basada en la realización del proyecto para el tratamiento de sus aguas residuales para granjas con diferentes capacidades de animales, se brindaron los costos y periodo de recuperación de la tecnología empleando un sistema de tratamiento preliminar, un digestor de doble etapa del modo UASB, una laguna de estabilización y un lecho de secado de lodos para tratar los residuales provenientes de una granja de más de 20 000 cerdos.

Garzón (2014), en su estudio: “*Caracterización de aguas residuales porcinas y su tratamiento por diferentes procesos en México*”, presenta una investigación sobre la variación en la composición de 14 efluentes, de granjas porcinas en México y la eficiencia de cinco diferentes procesos de tratamiento aplicados a escala real. Comparando efluentes de un mismo proceso productivo, engorda, la concentración aumenta con el tamaño de la granja como sigue: granjas chicas hasta 2500 puercos (la DQO varía entre 3478 y 9300 mg/L); granjas medianas con 2500 a 7999 puercos (la DQO varía entre 19 344 y 38 544 mg/L); granjas grandes con 8000 o más puercos (la DQO varía entre 34 310 y 40 498 mg/L). Este aumento en la concentración se debe principalmente a que las granjas de mayor tamaño hacen un uso más eficiente del agua. Por otra parte, en granjas del mismo tamaño también hay una diferencia en la concentración de contaminantes dependiendo del proceso productivo. Se observó que para las granjas de tamaño medio la concentración de DQO aumenta como sigue: maternidad 3500 mg DQO/L; aguas mezcladas entre 19 365 y 25 205 mg DQO/L; destete 37 498 mg DQO/L y engorda entre 19 334 y 38 544 mg DQO/L. Con respecto a los sistemas de tratamiento actualmente aplicados se determinó que el sistema que presenta la mejor eficiencia fue el digestor anaerobio de líquido y sólidos (DALYS) operado con un tiempo de retención hidráulico (TRH) ≤ 60 d, con el cual, al tratar los efluentes de engorda de dos granjas grandes, se obtuvieron las siguientes eficiencias de remoción: SST ≥ 92.5 %; DQO ≥ 97 %; DBO5 ≥ 96 %; P-T ≥ 66 % y 2 unidades logarítmicas de CF. Sin embargo, a pesar de las altas eficiencias de remoción que presentaron los DALYS, la calidad del efluente no es adecuada para ser descargado en cuerpos de agua ni para ser reutilizado en riego agrícola, por lo que se requiere un sistema que continúe el tratamiento y que remueva principalmente nitrógeno, SST, CF y DQO, para lo cual se recomienda un sistema aerobio. Una opción interesante, por ser de bajo costo de operación y mantenimiento, es el sistema de filtración por percolación

sobre materiales de empaque orgánicos con bajas tasas de filtración que puede ser operado por el mismo personal de las granjas y presentar de forma estable altas eficiencias de remoción.

Chao (2012), en su estudio: “*Gasto de agua de limpieza y tratamiento del residual en naves de ceba porcina*”, realizaron un estudio del sistema de limpieza en 3 naves de ceba de una unidad porcina de 80 reproductoras, y así como la depuración del agua residual generada en dicha unidad porcina mediante un biodigestor de cúpula fija de 90 m³ de volumen de digestión. Este estudio se realizó durante 3 meses y en cada nave se tuvo las siguientes consideraciones para las mediciones: cantidad de animales, tiempo de limpieza, cantidad de agua gastada en la limpieza, residual total (excretas más orina más el agua residual). Instalando metro contadores en cada nave porcina. Se determinó el gasto de agua de la motobomba en cada nave por lo que se realizó mediciones al inicio, a la mitad y al final de la limpieza ya que el flujo varía según la distancia. A las mediciones de aforo de las demás consideraciones se realizaron análisis de varianza mediante el Programa Statgraphics. Los animales por naves fueron de 91, 87 y 111 siendo sus pesos promedios de 52, 56 y 72 kg, empleándose para la limpieza 39,47 y 55 minutos. La cantidad de agua empleada en la limpieza fue 2,28 m³; 2,31 m³ y 2,80 m³ y el residual incluyendo excretas más orina de 2,55 m³; 2,57 m³ y 3,24 m³. La cantidad de agua residual que se generó en las tres naves fue de 8,36m³ y el gasto de agua por animal fue de 25,51 L. La reducción de los sólidos totales, sólidos volátiles y demanda química de oxígeno fue de 75, 79 y 62% respectivamente. En esta investigación se concluye que se gasta demasiada agua para la limpieza de las cebas, por lo que se necesita un sistema de tratamiento de estas aguas residuales que puedan soportar estos grandes gastos de agua, por lo que hace que el sistema de tratamiento se encarezca.

Salazar (2012) en su estudio: “*Producción de Biogás y Biol a partir de excretas de ganado, Experiencias en la ciudad de Tacna*” se diseñó, construyó y evaluó el funcionamiento de un biodigestor familiar de 2 m³ tipo manga de polietileno, utilizando adobe en las paredes de la zanja, acolchonado por una manta de sacos y revestido por un cobertor negro lo que ayuda a mantener cálido el sistema; alimentado con estiércol fresco de ganado ovino. Se evaluó el sistema en los meses de Marzo y Abril del 2011, donde se controló el pH del lodo, producción de biogás diaria, temperatura de la manga en tres regiones y la temperatura ambiental. El tiempo de retención inicial fue de 30 días, produciendo posteriormente biogás en forma diaria con un promedio de 400 litros/día con un rango de temperatura del biodigestor entre 30 a 40°C oscilando la temperatura ambiente entre 20 y 30°C durante los meses de evaluación. Se cuantificó la producción diaria de biol, resultando en 40 litros/día en promedio y se modificó una cocina de kerosene para comprobar la utilidad del biogás como combustible. Además, se realizó un estudio descriptivo sobre el desarrollo de biodigestores en Tacna, en las

zonas del Cercado, La Yarada e Ite. Haciendo una exhaustiva investigación y aplicando el método de encuesta directa, se encontró que en Tacna predominan los biodigestores caseros tipo chino de 5m³ de capacidad en promedio, los cuales fueron construidos hace más de quince años atrás y alimentados por excretas de ganado bovino. Aquellos biodigestores estuvieron en operación alrededor de tres años en promedio y actualmente se encuentran destruidos o abandonados por sus respectivos usuarios por diferentes causas, siendo el más común la baja rentabilidad del negocio pecuario el cual a sido reemplazado por la agricultura y además, la falta de personal que se dedique al manejo y mantenimiento del biodigestor. Finalmente se difunde el trabajo de investigación realizada entre la población, demostrando las bondades del biogás y biol.

Mantilla (2009), en su estudio: *“Diseño y estudio económico preliminar de una planta productora de biogás utilizando residuos orgánicos de ganado vacuno”*, muestra las consideraciones tenidas en cuenta y los resultados de una planta productora de biogás a gran escala, a partir de residuos orgánicos de vacuno, con el objetivo de observar la factibilidad técnica y económica para la implementación de este tipo de sistemas de manejo de residuos orgánicos en el país. La capacidad de la planta diseñada permite procesar el estiércol de 1 300 reses, generando 500 KW. de energía eléctrica mediante la operación de un motor generador que funciona con una mezcla de combustible diesel y biogás. El diseño incluyó el dimensionamiento de los establos para el ganado, los sistemas de recolección, transporte y mezcla del estiércol, el digestor, el tanque de efluente y el sistema para el tratamiento del biogás, entre otros elementos, utilizando equipos disponibles actualmente en la planta. Además se llevó a cabo un estudio económico el cual permite concluir sobre la viabilidad del proyecto y la importancia de la evolución del costo del combustible diesel para la determinación de los tiempos de retorno de la inversión.

2.2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.2.1. Agua residuales

Se define aguas residuales como aquella que ha sido utilizada en cualquier uso benéfico. El conocimiento de la naturaleza del agua residual es fundamental para el diseño, operación, y control de los sistemas de aguas residuales. Generalmente los generadores de aguas residuales se pueden agrupar en:

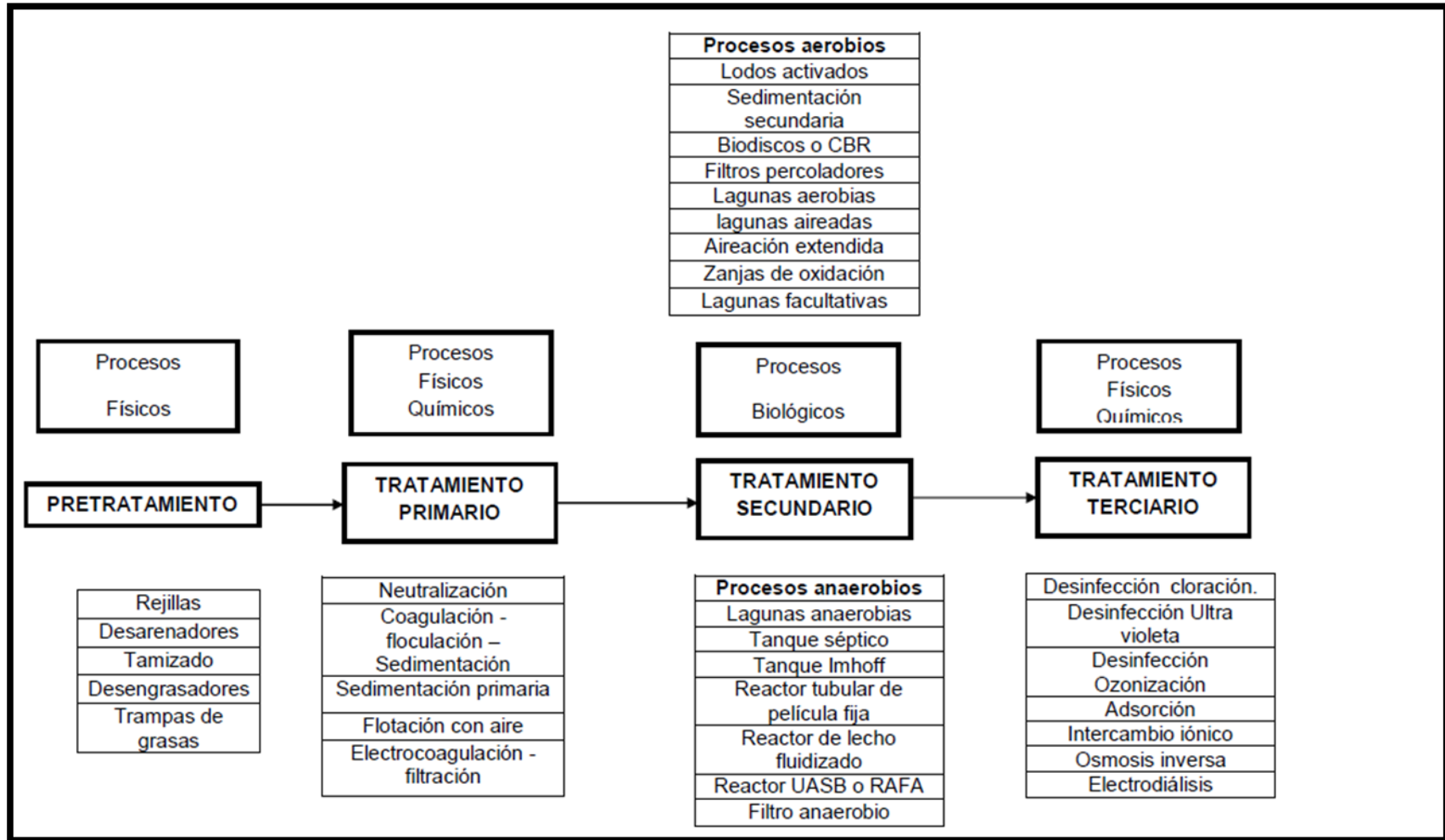
- Aguas Residuales Domésticas. Son los líquidos provenientes de las viviendas o residencias, edificios comerciales e institucionales
- Aguas Residuales Municipales. Son los residuos líquidos transportados por el alcantarillado de una ciudad o población y tratados en una planta de tratamiento municipal.
- Aguas Residuales Industriales. Aguas provenientes de las descargas de industrias manufactureras. (Sierra 2011).

2.2.2. Tipos de tratamientos para aguas residuales

El proceso usual de tratamientos de aguas residuales puede dividirse en las siguientes etapas: pre tratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario.

Cada etapa cuenta con diferentes clases de procesos, como se observa en la figura 01.

Figura 01. Sistemas de tratamientos de aguas residuales.



Fuente: Seoánez (2002)

2.2.3. Marco Legal del MINAM para los LMP de los efluentes de Explotaciones Ganaderas.

El MINAM (Ministerio del Ambiente) en su Decreto Supremo: “Aprueba límites máximos permisibles (LMP) para efluentes de actividades agroindustriales tales como planta de canales y plantas de beneficio”, establece los Límites Máximos Permisibles (LMP) que se muestran en la tabla 01, para efluentes de las actividades agroindustriales tales como plantas de canales y plantas de beneficio, con el objetivo de mitigar los efectos negativos en el ambiente, particularmente, la contaminación de los cuerpos de agua, así como los riesgos a la salud de la población.

Este Decreto Supremo es aplicable a todas las actividades agroindustriales tales como plantas de canales y plantas de beneficio que se desarrollen en el territorio del país.

Tabla 01: Límites máximos permisibles (LMP) para la descarga de efluentes líquidos en alcantarillado de la actividad agroindustrial tales como planta de canales y plantas de beneficio, incluyendo los mataderos en promedio diario.

Parámetros	Unidad	LMP
pH	-	6,0 - 9,0
Sólidos suspendidos totales	mg/L	300
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)	mg/L	250
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L	500
Fósforo Total	mg/L	40
Nitrógeno	mg/L	50

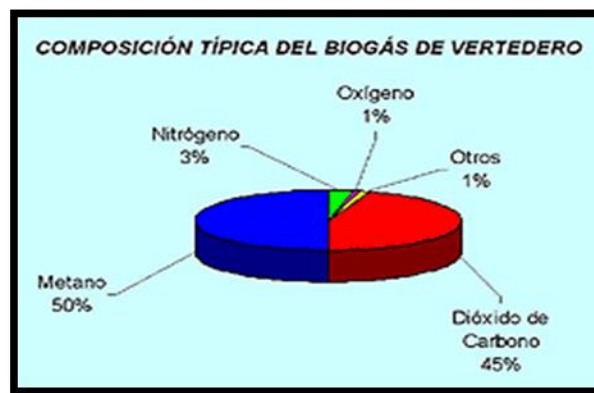
Fuente: Ministerio del ambiente (MINAM)

2.2.4. Fundamentos del proceso de biodigestión

A. Concepto de Biogás

La digestión anaeróbica es un proceso de bioquímico en el que la materia orgánica en ausencia de oxígeno, y mediante la acción de un grupo de microorganismos específicos se descompone en productos gaseoso o biogás y en digestato que es una mezcla de productos minerales (N, P, K, Ca, etc.) y compuesto de difícil degradación. El biogás contiene un alto porcentaje en metano. CH₄ (50-70%), por lo que es susceptible de un aprovechamiento energético mediante su combustión en motores, turbinas o calderas, bien solo o mezclado con otro combustible. El otro componente mayoritario es el CO₂, aunque también contiene Hidrógeno (H₂) y pequeñas cantidades de otros gases como sulfuro de hidrógeno (H₂S).

Figura 02. Composición Típica del Biogás



Fuente: Delgado (2013)

B. Digestión anaeróbica.

Según INCONTEC (2010), la digestión anaeróbica es un proceso mediante el cual los residuos se descomponen por la acción de microorganismos anaerobios para producir biogás (compuesto gaseoso de metano, gas carbónico y agua) y otro compuesto líquido o semisólido que puede ser empleado como fertilizante orgánico.

En este proceso el residuo orgánico se lleva a cabo en un tanque séptico en ausencia de oxígeno ya que los microorganismos productores del metano no sobreviven en ambientes con oxígeno y luz. La duración del proceso depende de los microorganismos y de las temperaturas utilizadas (véase tabla 02).

Tabla 02. Temperaturas de proceso en la digestión anaeróbica

Microorganismos	Temperatura	Duración	Nota
Psicrófilos	15 °C	90-120 días	Demasiado largo
Mesófilos	20°C -35 °C	25-30 días	Aprobado en la practica
Termófilos	55 °C	Unos 10 días	Altas perdidas caloríficas

➤ Fuente: INCONTEC (2010) **Etapas de la Digestión Anaeróbica.**

La digestión o fermentación anaerobia de compuestos orgánicos es un proceso complejo en el que se producen un gran número de reacciones químicas y donde se presentan una gran variedad de microorganismos. No es fácil conocer la secuencia exacta en la que suceden todos los pasos del proceso. Sin embargo, sí se sabe que la fermentación anaerobia se desarrolla en tres etapas.

- **Hidrólisis:** En esta etapa los microorganismos, principalmente celulíticos, actúan sobre la materia orgánica, transformándolos en monómeros de formula molecular más simple y soluble.
- **Acetogénica:** Los monómeros obtenidos son atacados por otro tipo de microorganismos, produciendo ácidos orgánicos de cadena corta, principalmente: ácido acético, dióxido de carbono e hidrogeno (también algunos alcoholes y aldehídos). Esta etapa se produce generalmente en la fosa de homogenización de los digestores.
- **Metanogénica:** Las sustancias producidas en etapas anteriores son atacadas por microorganismo metanogénicos, que necesitan encontrarse en una atmosfera con ausencia de oxígeno. Como resultado se produce metano y dióxido de carbono.

2.2.5. Bases técnicas del proceso de biodigestión.

Según el “Manual de dimensionamiento y diseño de biodigestores industriales para clima tropical. Biodigestores tropicalizados (2014) describe los parámetros más importantes que hay que conocer para poder dimensionar y operar un biodigestor. Los parámetros son los siguientes:

2.2.5.1. Masa seca.

La masa seca (MS) se define como la cantidad de sólidos que contiene la biomasa. Es el contenido de biomasa orgánica más la masa inorgánica que contiene el sustrato. Este valor se define también como la biomasa seca total con la que se alimenta diariamente a un biodigestor.

El porcentaje óptimo de sólidos en la mezcla que se alimenta al biodigestor, debe ser del 8% al 12%. En la práctica se ha generalizado un porcentaje de dilución del 10%. Se logra esta dilución mezclando la biomasa con agua o recirculando biol o bioabono.

La masa seca o sólidos totales (ST en aguas residuales) de los residuos agroindustriales, puede ser muy variable. Algunos como los sueros de leche, los purines de cerdo pueden tener entre 1% a 5% de ST, mientras que en otros pueden superar el 30% como en la gallinaza.

El agua contenida en los sólidos no produce biogás y, por lo tanto ocupa un lugar no aprovechado en el biodigestor. Sin embargo, el agua (humedad) resulta imprescindible para que el proceso de biodigestión se desarrolle de manera óptima.

Los residuos con alto contenido de sólidos pueden ocasionar en el biodigestor problemas de bombeo, agitación, sedimentación, formación de costras, etc. Por ello, se deben instalar equipos de agitación y extracción de sedimentos. Estos componentes, deben ser elegidos adecuadamente.

Mezcla de biomasa con porcentaje de masa seca mayores al 12%, son difíciles de bombear por las tuberías de alimentación al biodigestor y, también son difíciles de agitar en el biodigestor o se requiere de grandes cantidades de energía para la agitación.

En la tabla siguiente, se indican los contenidos de agua de varios tipos de biomasa:

Tabla 03. Contenido de agua en sustratos

Sustrato	Contenido de agua (%)
----------	-----------------------

Vinazas	90 - 94
Cereales	12 - 15
Estiércol de cerdo	85 - 95
Gallinaza	65 - 85
Forraje de maíz	65 - 80
Estiércol de ganado	85 - 95
Frutas - Verduras	82 - 95

Fuente: Moncayo, Gabriel. 2014. Biodigestores tropicalizados.

2.2.5.2. Masa volátil.

La masa volátil o sólidos volátiles, es el contenido de masa orgánica que tiene la biomasa. El porcentaje de sólidos volátiles respecto al de los sólidos totales (% sólidos volátiles o M.V.) suele variar entre 70 y 95%. Los residuos que tienen un porcentaje inferior al 60% no suelen considerarse buenos sustratos para la digestión anaeróbica.

El contenido de la MV, es importante ya que solo este porcentaje es el contenido real de masa orgánica en la biomasa. El resto es humedad, trazas inorgánicas y otras materias que no producen biogás. Solo este contenido de MV es el que produce biogás durante la digestión anaeróbica en el biodigestor. El contenido de agua (humedad) no produce biogás, pero facilita el proceso de biodigestión.

Este valor es necesario para el cálculo de la carga orgánica volumétrica, COV (kg. MV/m³.día), con el cual se alimenta al biodigestor.

2.2.5.3. Carga orgánica volumétrica (COV).

Se entiende como COV, a la cantidad de materia orgánica volátil (MV) con el que se alimenta diariamente al biodigestor por m³ de volumen de biodigestor. Se define en kg. de MV por m³ de volumen de biodigestor y por día (kg .MV/m³.día).

La COV, es considerada como un parámetro para controlar la carga del biodigestor y es un factor determinante para el dimensionamiento de este. Si el sustrato está muy diluido, las bacterias no tienen suficiente alimento para vivir; mientras que un exceso de sólidos orgánicos disminuye la movilidad de los microorganismos y, por consiguiente, la efectividad del proceso ya que les impide acceder al alimento.

El valor seleccionado de la COV, depende mayormente, de la temperatura del proceso al interior del biodigestor. El valor de la COV determina el tiempo de retención hidráulica.

A menos temperatura y mayor TRH, mayor puede ser la COV. Por lo tanto, más masa orgánica puede ser alimentada al biodigestor. La COV, puede aumentarse

hasta un valor máximo determinado. Sin embargo, a mayor COV mayor es el riesgo de inhibir el proceso, ya que el biodigestor se alimenta con demasiada biomasa orgánica para las bacterias. En este caso, el proceso se torna muy inestable y, tiene que ser monitoreado y analizado con más frecuencia. Generalmente la COV, debe alcanzar valores entre 2-3 kg.MV/m³ de biodigestor y por día.

Si se mantiene constante el volumen del biodigestor (m³) y se aumenta la COV (kg.MV/m³.día), disminuye el TRH (días). En este caso las bacterias tienen menor tiempo para degradar la materia orgánica y para producir biogás. Para cargas mayores a 3 kg/m³, puede ocurrir que la materia orgánica se descargue del biodigestor sin que se haya degradado.

Cargas orgánicas volumétricas mayores a 3 kg/m³, existe un control permanente del proceso de biodigestión. Se debe observar en forma constante, si no hay una disminución en la producción de biogás. A valores de COV entre 4 – 5 kg.MV/m³, se observa una disminución del proceso de degradación de las bacterias y la consecuente disminución de la producción de biogás. Valores de COV alrededor de 1-2 kg.MV/m³ no dan absolutamente ningún problema.

2.2.5.4. Tiempo de retención hidráulica (TRH).

El THR es el tiempo de permanencia de la biomasa en el biodigestor. No existe un tiempo unificado para determinar el tiempo de retención. Este valor depende de la temperatura ambiental y de la carga orgánica volumétrica seleccionada para el biodigestor. El TRH seleccionado para una biomasa determinada depende de la degradabilidad de la materia orgánica. Materia de fácil degradación requiere de un menor TRH.

En los biodigestores de alimentación continua el tiempo de retención se define como el valor en días del cociente entre el volumen del biodigestor y el volumen de la carga diaria. El tiempo de retención determina el tiempo de permanencia de la biomasa al interior del biodigestor hasta su descarga. Indica indirectamente también la carga del biodigestor con materia orgánica, ya que a menor tiempo de retención menor tiempo tienen las bacterias para la degradación de la materia orgánica.

La selección de una mayor temperatura del proceso implicara una disminución en los tiempos de retención requeridos y consecuentemente serán mayores los volúmenes del biodigestor necesarios para dirigir un determinado volumen de biomasa.

En países tropicales se dimensionan los biodigestores con un tiempo de retención entre 10 a 25 días, dependiendo de la temperatura ambiental y del tipo de biomasa.

Si se selecciona un tiempo de retención demasiado corto, las bacterias no tienen tiempo de formarse y crecer. Las bacterias necesitan aunque sea los días necesarios para duplicarse. Por esta razón se considera como límite inferior un tiempo de retención de 10 días como mínimo para la producción de bacterias metanogénicas.

También hay que tener en cuenta que a mayor volumen de biodigestor menor es el costo de construcción por m³ de volumen. Se recomienda tomar en cuenta todos estos factores al seleccionar el volumen de biodigestor óptimo.

2.2.5.5. Acidez.

El pH es uno de los parámetros de control más importante en la operación de los biodigestores debido a que los organismos metanogénicos presentan una gran sensibilidad a las variaciones del mismo.

Los valores de pH se deben mantener entre 6,5 y 7,5 para obtener un buen rendimiento de degradación de la biomasa y una elevada concentración de metano. La digestión anaeróbica comienza a inhibirse a valores menores de 6,5 y mayor que 7,6. La mejor y más simple manera de corregir un pH es dejar de alimentar al biodigestor con biomasa y alimentarlo con bastante agua.

La formación excesiva de ácidos grasos volátiles (AGV) y entre ellos el acetato, tienden a disminuir el pH del sustrato. Si las bacterias metanogénicas no alcanzan a convertirse rápidamente, los AGV como hacen las bacterias acetogénicas, estos se acumulan y reducen el pH en el biodigestor. Sin embargo, el equilibrio CO₂ – bicarbonato opone resistencia al pH.

Para lograr un adecuado funcionamiento de los sistemas anaeróbicos es indispensable generar las condiciones ambientales favorables para el desarrollo y crecimiento de las bacterias metanogénicas y de esta manera lograr las eficiencias de producción de biogás estimadas para cada proyecto.

El pH es también una importante variable de diagnóstico de los sistemas anaerobios, pues muchos fenómenos tienen influencia sobre el mismo.

Ejemplos clásicos son las sobrecargas orgánicas, o la presencia de un inhibidor en la etapa Metanogénica, que pueden provocar desequilibrios entre la producción y el consumo de ácidos grasos volátiles, produciendo la acumulación de estos y el consiguiente descenso del pH, ocasionando la acidificación del biodigestor. En función de la alcalinidad del medio, el descenso del pH será más o menos rápida.

2.2.5.6. Alcalinidad.

La alcalinidad es una medida de la capacidad tampón del medio. Esta capacidad tampón puede ser proporcionada por un amplio rango de sustancias, siendo por tanto una medida inespecífica. En el rango de pH de 6 a 8, el principal equilibrio químico que controla la alcalinidad, se define como la relación entre la alcalinidad ocasionada por los AGV y la debida al bicarbonato, recomendándose no sobrepasar un valor de 0,3– 0,4 para evitar la acidificación del biodigestor. La alcalinidad del bicarbonato debe mantenerse por encima de 2500 mg/l para asegurar la estabilidad del biodigestor.

2.2.5.7. Porcentaje de degradación.

La degradación total de la biomasa orgánica hasta su mineralización será solo posible si la biomasa no tuviera lignina. En la práctica se necesita tiempos de retención muy grandes para lograr la degradación total de la biomasa.

Este parámetro indica el porcentaje de la masa orgánica que se degrada durante el tiempo de retención y se transforma en biogás. La degradación de la biomasa en un biodigestor no es constante, empieza en forma acelerada y después es bastante lenta.

La producción de los últimos porcentajes de biogás (si se trata de lograr una total degradación de la biomasa) se podría lograr teóricamente con grandes volúmenes de biodigestor. Grandes volúmenes de biodigestor ocasionan elevadas inversiones para un proyecto que podrían poner en duda su rentabilidad. Siempre es necesario seleccionar un volumen de biodigestor que reporte la mayor producción de biogás con los costos más bajos de construcción.

El porcentaje de degradación que se alcanza en un biodigestor depende también del tipo de biomasa, en el caso de los estiércoles del tipo de animal y de su alimentación.

En la práctica, se logra un porcentaje de degradación del 65 al 75%, en término medio se puede lograr un porcentaje de degradación de aproximadamente el 70%. Si se trata de biodigestores que se alimentan con cultivos energéticos como el maíz, pasto, trigo, etc., se puede lograr un porcentaje de degradación en promedio del 80%. Biodigestores agitados completamente producen más biogás que biodigestores sin agitación.

2.2.6. Producción de biogás de estiércol de animales.

A continuación se detalla la cantidad de biogás en promedio que puede producir una tonelada de estiércol de cerdo, ganado vacuno y gallinaza en condiciones normales de

operación. Estos valores se pueden utilizar para el cálculo de la producción de biogás. Son valores estimados y referenciales para desechos puros sin mezcla adicional de agua u otros tipos de biomasa.

Tabla 04. Producción de biogás estimado según el tipo de estiércol

Biomasa / estiércol	Producción de biogás (m³/tn)	Contenido de metano (%)
Ganado vacuno	20 - 25	65
Cerdos	25 - 35	65
gallinaza	55 - 75	65

Fuente: Moncayo, Gabriel. 2014. Biodigestores tropicalizados.

Estos valores referenciales son válidos para zonas tropicales con temperaturas promedio anuales con un mínimo de 25°C y alturas sobre el nivel del mar de hasta 2000 metros. Para zonas templadas hay que considerar una reducción de la producción de biogás de hasta un 20%.

2.2.7. Estiércol de cerdo.

Según la literatura los cerdos consumen alimentos de un alto valor proteico, sin embargo, son ineficientes transformadores de alimentos y desperdician un alto porcentaje de las proteínas y micronutrientes disponibles en los granos y oleaginosas que forman parte importante de las dietas convencionales en la porcicultura moderna.

La excreta porcina presentan entre un 5 y 30% de la energía requerida por el animal en la dieta y esta fracción nutritiva tiene una alta digestibilidad.

2.2.8. Aprovechamiento de estiércol de cerdo.

La contaminación producida por una explotación porcina puede variar de acuerdo de acuerdo al estado fisiológico de los animales y al tipo de alimentación utilizada, lo que afecta la composición físico química del estiércol. El grado de la afectación de esta contaminación depende de la cantidad de aguas de lavado utilizada, si es que se realiza una separación de sólidos y del uso que se aplica a los residuos.

El estiércol de cerdo, es una biomasa ideal para su aprovechamiento en biodigestores. La producción de biogás se determina por s contenido orgánico, contenido de orinas, heces, restos de alimentos, etc. Para el cálculo de la producción de biogás no se debe considerar las aguas de lavado que se utilizan en la limpieza de los pisos.

Las condiciones normales de operación, el estiércol de cerdo pueden tener un % de masa seca de 4 – 6% y un % de masa volátil del 90 – 95%. La producción de biogás de 1 tonelada de desecho húmedo (heces y orina) está en el orden de 25 – 35 m³/t.

En países tropicales y debido a las condiciones climáticas favorables se puede calcular con un estimado de 30 m³/t.MH. Por tonelada de MV se puede estimar una producción de biogás de 350 – 450 m³/t.MV.

2.2.9. Biodigestores de uso agropecuario.

A. Criterios de Diseño típico.

El espacio determina principalmente la decisión de si el fermentador se sitúa por encima del suelo o subterráneo, si es que se construye como un cilindro en posición vertical o como una planta horizontal (se suelen usar digestores horizontales cuando hay sustratos ricos en materia seca como la cama de los animales).

Las estructuras existentes en la explotación ganadera pueden ser utilizadas, como un depósito de estiércol líquido, una sala vacía o un recipiente de acero. Para reducir los costes, puede ser necesario ajustar el diseño de la planta a estas estructuras.

Minimizar los costes puede ser un parámetro de diseño importante, especialmente cuando los beneficios monetarios se espera que sean bajos. En este caso una cubierta flexible del digestor es generalmente la solución más barata. La minimización de los costes a menudo se opone a maximizar el rendimiento del gas.

El sustrato disponible determina no sólo la forma del recipiente de mezcla, sino también, el volumen del digestor (tiempo de retención) y los dispositivos de calentamiento y agitación. La agitación a través de inyección de gas sólo es factible con un sustrato homogéneo y un contenido de materia seca por debajo del 5%. Sin embargo, la agitación mecánica puede ser problemática en sustratos con más del 10% de materia seca.

B. Principales tipos de biodigestores.

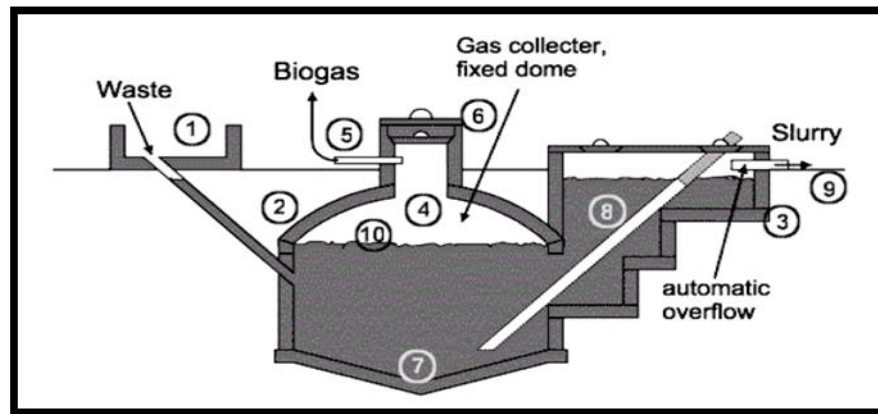
➤ Sistema de cúpula fija.

Este tipo de planta contiene un depósito de gas fijo que se sitúa en la cima del digestor, el sustrato en digestión se desplaza al tanque de compensación. La presión del gas aumenta con el volumen de gas almacenado y con la diferencia de altura entre el digestor y la suspensión en el tanque de compensación.

Este tipo de digestores se sitúa bajo el suelo, es más barato ya que no tiene piezas móviles y además de larga duración (hasta 20 años) porque no está

expuesto a daños físicos, sol y temperatura extremos. Además, permite el mejor aprovechamiento del espacio.

Figura 03. Biodigestor de cúpula fija: 1) Tanque de mezcla con tubería de entrada y trampa de arena; 2) Digestor; 3) Tanque de compensación y eliminación; 4) gasómetro; 5) Tubería de gas; 6) Escotilla de entrada con sello hermético; 7) Acumulación de fango espeso; 8) Tubería de salida; 9) Nivel de referencia; 10) Sobrenadante escoria interrumpido por diferentes niveles



Fuente: Nodar. 2012

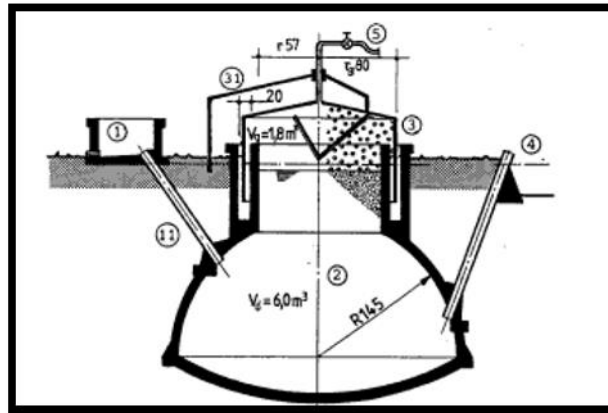
➤ Sistema de tambor flotante.

Consiste en un digestor bajo tierra y una campana de gas móvil. La camisa de gas flota, ya sea directamente sobre la suspensión de fermentación o sobre una camisa de agua propia. El gas se recoge en el tambor que se levanta o se mueve hacia abajo, de acuerdo con la cantidad de gas almacenado. Un bastidor de guía impide la inclinación del tambor de gas. Si el tambor flota sobre una camisa de agua no puede atascarse, incluso si el sustrato tiene alto contenido en sólidos.

En este tipo de plantas la presión de gas se mantiene constante y el volumen de gas es fácilmente perceptible por la posición del tambor.

No hay problemas de estanqueidad siempre y cuando el gasómetro se desoxide y se pinte con regularidad. Los principales inconvenientes son que el tambor de acero es caro y requiere un mantenimiento intensivo, además, el tiempo de vida es relativamente corto en función del clima de la zona y con el uso de sustratos fibrosos pueden producirse atascos.

Figura 04. Biodigestor de Tambor flotante: 1) Pozo de mezcla; 11) Tubo de llenado; 2) Digestor; 3) Gasómetro; 31) Guía de encuadre; 4) Depósito de la suspensión; 5) Tubería de gas.



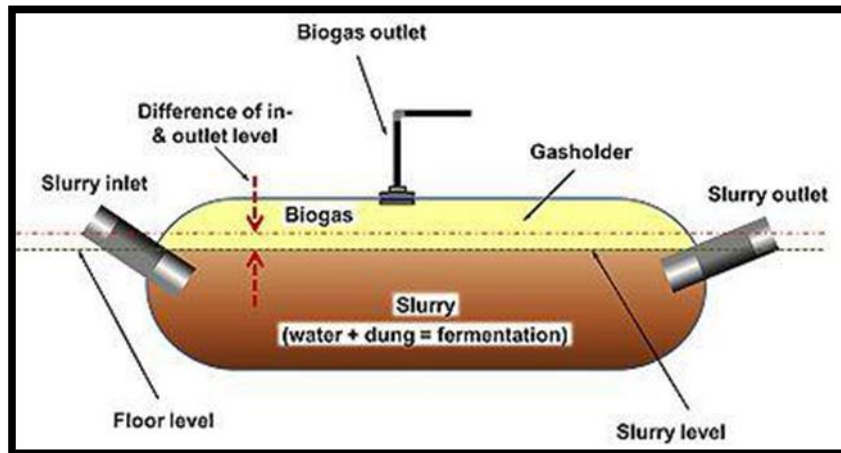
Fuente: Nodar, L. 2012.

➤ Sistema balón o biodigestor tubular

La planta de balón se compone de un tubular en material plástico (polietileno, PVC, plastilona, entre otros, y una combinación de éstos) completamente sellado, la entrada y la salida están sujetas directamente a las paredes de la planta. La figura, muestra un esquema de esta tipología. La parte inferior de la planta, en un 75% del volumen constituye la masa de fermentación, y en la parte superior, el 25% restante, se almacena el biogás. Este tipo de planta se recomienda para aquellos sitios donde predominan las temperaturas altas y constantes.

Entre sus ventajas, están sus materiales de construcción son de fácil transporte; su instalación y adecuación del sitio son sencillas; es apropiado en sitios con nivel freático alto, por su construcción horizontal; y entre los tipos de biodigestores, es el menor costo de construcción y operación; como se muestra en la figura 7, pueden ser instalados por la comunidad beneficiada, sin que ésta tenga conocimientos sobre construcción. Son desventajas, la baja presión de gas; una vida útil corta, entre 3 y 8 años, dependiendo del material que se seleccione; debe protegerse contra los rayos solares; y el material plástico está sujeto a daños, siendo necesario en lo posible encerrarse el área adyacente al biodigestor.

Figura 05. Biodigestor Tubular o de flujo pistón



Fuente: Nodar. 2012

➤ Biodigestor Tipo Laguna Cubierta.

En este tipo de sistemas, la entrada de la materia prima ocurre por gravedad o uso de bombas. Normalmente grandes flujos de excremento o desechos de rastros drenan hacia grandes contenedores donde los residuos serán tratados y metabolizados por alrededor de 40 días. Estos biodigestor están contruidos a partir del recubrimiento de grandes zanjas o pozos con materiales aislantes fabricados a partir de plástico, geomembrana o LDLP que cubren el piso y que proveen la condición anaeróbica necesaria. En función de la densidad de la materia prima utilizada será necesario construir paredes interiores que artificialmente alarguen el trayecto que la materia prima realizará dentro de ellos con el fin de proveer las condiciones necesarias para su total tratamiento y consecuente producción de biogás. En México, se utiliza sistemas de presión positiva para atrapar el metano. En estos sistemas, una fase gaseosa de biogás rico en metano es formada en la parte superior del biodigestor. Tras la generación de biogás, este es distribuido a través de tuberías a un medidor de gas hacia el punto final de utilización del biogás, que puede ser con fines caloríficos o generación de electricidad. Alternativamente la distribución del biogás irá hacia una llama de combustión de biogás donde será quemado, produciendo dióxido de carbono como sub producto. Este CO_2 en comparación al metano, es prácticamente inocuo, pues tiene 21 veces menos poder contaminante (considerado en una escala de tiempo de 100 años) y por lo tanto disminuye el potencial de generación de gases efecto invernadero del proceso productivo.

Cada sistema de biodigestión es único puesto que la materia prima puede provenir de diferentes tipos de animales y diferentes combinaciones entre ellas, y a la vez el ganado es alimentado a partir de diferentes fuentes de alimentación. Adicionalmente la ubicación y el clima juegan un rol importante. Es por esto que cada sistema debe estudiarse por separado para asegurar su adecuado funcionamiento, lo cual juega un

rol fundamental en proyectos grandes que busquen registrarse como un solo proyecto bajo un programa de actividades.

Figura 06. Biodigestor Tipo Laguna Cubierta



Fuente: Moncayo, Gabriel. 2014. Biodigestores tropicalizados.

2.2.10. Calefacción en instalaciones porcinas.

La importancia del sistema de calefacción en los alojamientos de porcino permite mantener una temperatura adecuada para poder alcanzar unos resultados productivos óptimos en la explotación, basados en la obtención de índices de transformación elevados.

De este modo, se define la zona de confort térmico como el rango de temperaturas que garantizan un crecimiento máximo del animal. Por debajo de este rango de temperatura (temperatura crítica inferior), el animal consume alimento sin ser capaz de convertirlo adecuadamente en incremento de peso, puesto que lo destina a combatir el frío, y por encima de dicho rango (temperatura crítica superior) el animal disminuye de forma importante el consumo de pienso.

Tabla 05. Rango de temperatura óptimo en alojamientos de Maternidad

Rango de temperatura optimo en alojamientos de Maternidad	
	Zona de confort térmico (°C)
Nacimiento	35-37
Destete	26-28

Fuente: Blanco (2013)

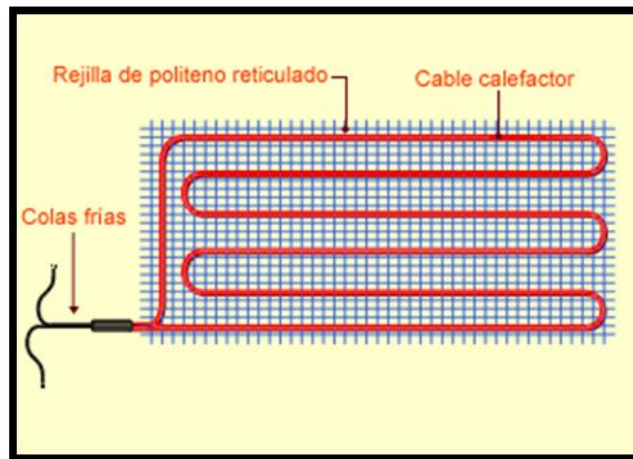
A. Sistemas de calefacción en granjas porcinas

➤ **Suelo radiante por agua caliente.**

En el mundo ganadero, el suelo radiante se ha venido utilizando desde hace años en forma de placas de calefacción eléctrica, de amplia difusión en instalaciones ganaderas, sobre todo de porcino, generalmente en paritorios de cerdas madres y en jaulas de destete-transición de lechones. En estas dependencias, se han colocado las placas radiantes eléctricas sobre la solera existente, en zonas donde la demanda puntual de calor así lo aconsejaba.

Entre las ventajas que aporta, se encuentra la fundamental de favorecer la distribución de una temperatura más uniforme en todo el recinto, unida a una sensación más confortable para los animales y que además, permite disponer de espacios diáfanos, sin resaltes ni rincones que favorezcan la proliferación de microorganismos y patógenos, permitiendo una mejor limpieza y vacío sanitario de las dependencias.

Figura 07. Instalación de calefacción por suelo radiante



Fuente: Blanco. 2013

➤ **Sistema de calefacción por calentadores infrarrojos.**

Los calentadores infrarrojos es el sistema ideal y más adecuado para la calefacción de granjas avícolas y porcinas. La combinación de diversos factores como una amplia gama de radiadores, funcionamiento perfecto, una larga duración, un bajo consumo de gas, un mantenimiento muy sencillo y una alta capacidad de ajuste de la potencia, hacen que el radiador infrarrojo sea el más avanzado del mercado. Otras ventajas son:

- Se instala a una altura superior incrementando la zona de cobertura del radiador.
- Necesitará instalar menos radiadores.
- Maximizan la conversión de gas en radiación infrarroja y crean una burbuja de calor al nivel de los lechones.

Figura 08: Calefacción por calentadores infrarrojos.



Fuente: Inycto Flama C.A. 2007.

III. RESULTADOS

3.1. CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL DE LA EMPRESA RICO CERDO F&G.

3.1.1. LA EMPRESA

La granja Rico Cerdo F&G, se encuentra ubicada en el distrito de Reque, específicamente en la zona llamada La Clake: Mz “N” Lote 01. Lo podemos ubicar en el siguiente mapa de ubicación de la figura 09.

Figura 09. Área total de la Granja Rico Cerdo F&G



Fuente: google maps

Desde el año 2011 se dedica a la producción y explotación porcina, con una excelente calidad y seguridad. Está reconocida como la mejor granja del norte y cuenta con autorización sanitaria de funcionamiento emitida por SENASA y el Ministerio de Agricultura.

Ofrece la venta de cerdos de calidad y buen rendimiento, con la carne del mejor sabor del mercado. Entre las diferentes razas de cerdos que se encuentran en la granja tenemos: Duroc Canadiense, Pietrain, Marrana Yorkshire y Belga Blanco.

Figura 10. Frontis de la Empresa Rico Cerdo F&G – La Clake, Reque



Fuente: Rico Cerdo F&G

3.1.1.1. CANTIDAD DE CERDOS EN LA GRANJA RICO CERDO F&G.

La cantidad de cerdos que se encuentran en la granja se ve influenciada por la venta que se realiza cada día, es por eso que se calcula un aproximado mensual, que se tiene en sus diferentes áreas productivas. El porcentaje promedio de lechones recién nacidos en la granja es del 6% del total de cerdos en la granja.

En la tabla 06, se observa la cantidad de cerdos en las diferentes áreas productivas, en los meses del año 2014:

Tabla 06. Cantidad mensual de cerdos de la granja Rico Cerdo F&G (2014)

MES	CANTIDAD DE CERDOS EN LAS ÁREAS DE LA GRANJA							Total de cerdos en la granja (unid.)
	Parrilla	Crecimiento	Engorde	Hembras en gestación	Hembras en Maternidad	Machos Reproductores	Lechones en Maternidad	
Enero	1 593	402	1 200	380	80	13	968	4 653
Febrero	1 758	402	1 200	380	81	13	888	4 739
Marzo	1 726	401	1 295	378	79	13	845	4 754
Abril	1 847	430	1 352	370	85	13	624	4 738
Mayo	1 952	391	1 275	370	84	13	591	4 693
Junio	1 854	344	1 142	378	81	13	570	4 399
Julio	1 656	292	1 137	380	82	13	723	4 300
Agosto	1 549	416	1 092	379	80	13	745	4 291
Septiembre	1 566	388	1 213	375	83	13	912	4 567
Octubre	1 675	425	1 285	375	81	13	832	4 703
Noviembre	1 656	404	1 163	379	81	13	859	4 572
Diciembre	1 663	423	1 270	380	82	13	836	4 684

Fuente: Rico Cerdo F&G

3.1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE CRIANZA DE CERDOS.

El proceso para la crianza de cerdos comienza, en el desarrollo de actividades de reproducción, en esta etapa se da inicio a la inseminación artificial o natural. En esta área las hembras son primerizas y multíparas las cuales formarán parte del sistema de reproducción. Se espera que la cerda alcance una edad madura sexual, en un tiempo de 6 a 7 meses y que llegue a pesar unos 85 a 90 kilogramos, esto varía según la raza de los cerdos

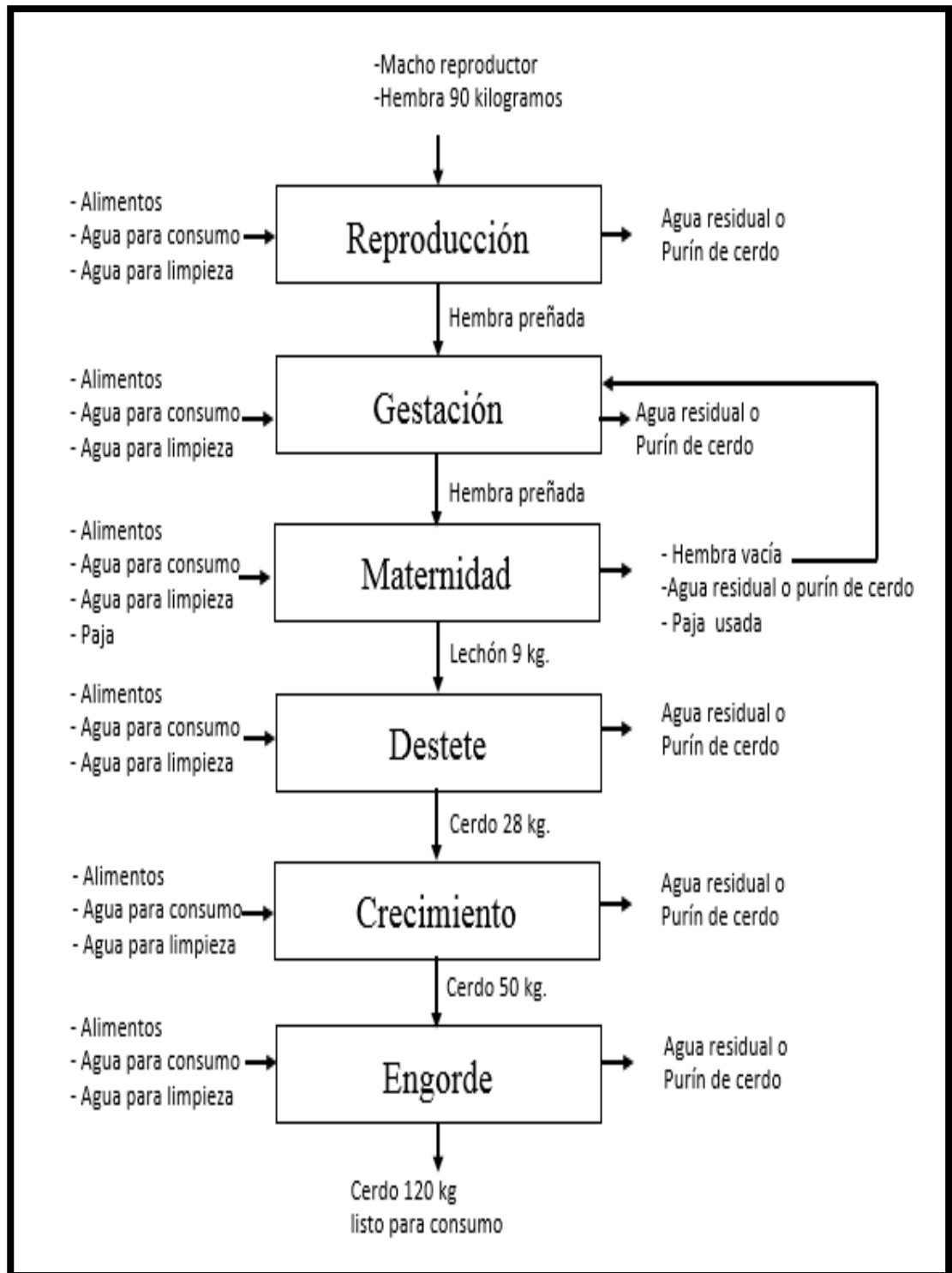
Luego entran a la etapa de gestación, donde todas las cerdas son encerradas en sus galpones para evitar problemas con los demás animales, este proceso dura de 114 días. Posteriormente se lleva al área de maternidad, la cual es la más delicada debido a que los lechones están muy susceptibles, por lo que se requiere una atención personalizada, este periodo dura de 21 a 28 días.

Después de pasar el periodo en el área de maternidad, los lechones pasan al área de destete. Lo primordial para realizar el destete en los lechones es que estén en un peso de 7 a 9 kilogramos, hasta un máximo de 15 kilogramos. Para los lechones es muy difícil dejar a su madre, ya que es llevado a un ambiente nuevo para ellos. En esta etapa permanecen hasta los 72 días de su nacimiento

Seguidamente pasan al área de crecimiento, con un peso inicial de 28 a 30 kilogramos. En esta etapa permanecen hasta los 90 días de su nacimiento, llegado a pesar de 45 a 50 kilogramos.

Finalmente pasan al área de engorde, donde alcanzarán su peso ideal el cual es de 100 a 120 kilogramos, en 120 a 150 días de su nacimiento., con un consumo de 4 kilogramos de comida por cerdo. Una vez realizado esto el cerdo está apto para la venta. Teniendo como desechos aguas residuales, restos de comida, generación de olores.

Figura 11. Diagrama de proceso para la crianza de cerdos.



Fuente: Rico Cerdo F&G

3.1.3. LIMPIEZA Y MANEJO DE EXCRETAS

Para la limpieza de las áreas productivas de la granja se usan aguas subterráneas extraídas de un pozo, usando una motobomba. Existen 6 salidas de tuberías para la limpieza en todas las áreas productivas de la granja (ver Anexo 01). Para el lavado de las diferentes áreas productivas de la granja, el operario primero pasa área por área, con una manguera a presión conectada en una válvula de salida, removiendo las excretas de los cerdos y desechos de los pisos, las cuales van al drenaje desembocando en la fosa de oxidación 01.

Figura 12. Limpieza de excretas en las diferentes áreas productivas de la granja Rico Cerdo F&G



Fuente: Rico Cerdo F&G

Las aguas residuales son conducidas por medio de drenaje a una primera fosa de 1575 m² con una profundidad de 4 metros, como se observa en la figura 15.

Figura 13. Fosa de oxidación 01



Fuente: Rico Cerdo F&G

Al sobrepasar la capacidad de almacenamiento de esta fosa de oxidación 01, se optó por realizar otra fosa de oxidación 02, de 196 m² con una profundidad de 2,5 metros. En donde el agua residual de la primera fosa es bombeada hacia la fosa de oxidación 02 (ver figura 16). Esta fosa tiene un canal de salida, donde el agua residual se pierde en terrenos cercanos a la granja.

Figura 14. Fosa de oxidación 02



Fuente: Rico Cerdo F&G

3.1.4. PRODUCCIÓN DE AGUA RESIDUAL EN LA GRANJA.

Para calcular la producción de agua residual en la granja Rico Cerdo, se realizó lo siguiente.

Se calculó la cantidad mensual de excretas en la granja, teniendo como dato un estudio realizado por Penz (2000), que proporciona datos del volumen diario de excretas producidas por el tipo de cerdo. Como se observa en la tabla 07:

Tabla 07. Producción diaria de excretas según el tipo de cerdo.

Etapa	Estiércol	Estiércol,+ orina	Volumen	Volumen (Estiércol + orina)
	kg/día	kg/día	l/día	m³/anim/mes
25/100 kg	2,3	4,9	7,0	0,21
Hembra	3,6	11,0	16,0	0,48
Hembra en Lactación	6,4	18,0	27,0	0,81
Semental	3	6,0	9,0	0,27
Lechón	0,35	0,95	1,4	0,04
Promedio	2,35	5,8	8,6	0,26

Fuente: Penz (2000)

Teniendo el cálculo de la cantidad de cerdos que se encuentran en la granja (ver tabla 06) y teniendo la producción de excretas según el tipo de cerdo (ver tabla 07), se calculó la cantidad aproximada de excretas en las diferentes áreas productivas de la granja. En la tabla 08, se observa el volumen total de excretas que se genera en la granja.

Tabla 08. Cantidad mensual de excretas en la Granja Rico Cerdo en el año 2014

MES	Estiércol (kg/mes)	Estiércol+orina (kg/mes)	Volumen estiércol+orina (m ³ /mes)
Enero	194 999	479 422,5	651,20
Febrero	196 083	482 385	699,07
Marzo	201 181,5	492 325,5	713,08
Abril	206 354	502 717,5	727,96
Mayo	198 913,5	487 177,5	705,82
Junio	185 532	458 346	664,43
Julio	181 534,5	449 884,5	652,34
Agosto	185 601	457 665	663,26
Septiembre	194 094	476 880	691,03
Octubre	201 536	492 649,5	713,51
Noviembre	192 184,5	473 176,5	685,74
Diciembre	201 011	492 112,5	712,82

Fuente: Elaboración propia

La empresa no cuenta con un registro de la cantidad de agua subterránea que se extrae, pero el lavado diario de la granja es de 5 horas a 6 horas diarias aproximadamente y el flujo del agua es de aproximadamente 1,3L/s, teniendo estos datos podemos calcular la cantidad de agua mensual que se extrae de la poza. Esta cantidad es aproximada para los demás meses.

Tabla 09. Consumo mensual de agua subterránea para limpieza de excretas (2014)

Mes	Consumo de agua subterránea para limpieza (m³/mes)
Enero	779,99
Febrero	784,33
Marzo	804,73
Abril	825,41
Mayo	795,65
Junio	742,13
Julio	726,14
Agosto	742,40
Septiembre	776,38
Octubre	806,14
Noviembre	768,74
Diciembre	804,04

Fuente: Elaboración propia

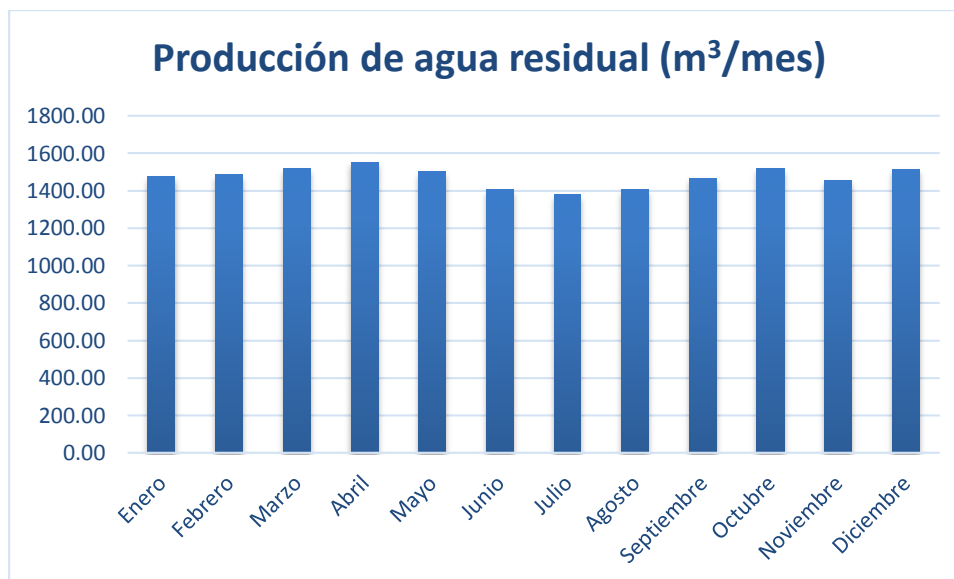
Teniendo el consumo mensual aproximado de agua subterránea para la limpieza de las áreas productivas de la granja y la cantidad mensual de excretas producido por los cerdos, se sumó estos dos datos. Obteniendo el volumen total (m³/mes) de agua residual o purín de cerdo que se genera mensualmente en la granja Rico Cerdo. Como se observa en la tabla 10.

Tabla 10. Cantidad aproximada de Agua residual o purín de cerdo generado en la Granja en el año 2014.

MES	Producción de agua residual (m ³ /mes)
Enero	1 431,20
Febrero	1 483,40
Marzo	1 517,81
Abril	1 553,38
Mayo	1 501,47
Junio	1 406,56
Julio	1 378,48
Agosto	1 405,66
Septiembre	1 467,40
Octubre	1 519,66
Noviembre	1 454,48
Diciembre	1 516,86

Fuente: Elaboración propia

Figura 15. Cantidad estimada de agua residual en la granja. Año 2014.



Fuente: Elaboración propia.

3.1.5. CAPACIDAD MÁXIMA Y CAPACIDAD UTILIZADA EN LAS DIFERENTES ÁREAS PRODUCTIVAS DE LA GRANJA RICO CERDO F&G. S.A.C.

Para este proyecto no se realizó una proyección de las aguas residuales generadas por la empresa, ya que los desechos (excretas) están limitados por la capacidad con la que cuenta la granja Rico Cerdo. Existen áreas productivas donde los animales están superando la capacidad de las áreas productivas.

Esto quiere decir que la granja Rico Cerdo ya alcanzó y superó su capacidad máxima, por lo que no podrá aumentar su producción, sino mantenerla. Es por eso que se trabajó con el caudal máximo (51,78 m³/día) registrado en el año 2014, para dimensionar el sistema de biodigestión.

Tabla 11. Capacidad máxima de las áreas productivas.

ÁREA PRODUCTIVA	CAPACIDAD MÁXIMA (animales)	CAPACIDAD UTILIZADA (animales)
Parrilla N° 01	500	550
Parrilla N° 02	1200	1250
Crecimiento	500	430
Engorde N° 01	400	350
Engorde N° 02	400	350
Engorde N° 03	700	650
Lechones en Maternidad N° 01	588	588
Lechones en Maternidad N° 02	456	380
Marranas en Maternidad N° 01	49	49
Marranas en Maternidad N° 02	38	38

Fuente: Granja Rico Cerdo F&G S.A.C.

3.1.6. CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL O PURIN DE CERDO.

3.1.6.1. REQUISITOS PARA TOMA DE MUESTRA DE AGUA RESIDUAL Y SU PRESERVACIÓN SEGÙN EL MINISTERIO DEL AMBIENTE.

El Ministerio del Ambiente recomienda estos requisitos para la toma de muestra de agua residual y preservación de las muestras para el monitoreo (ver tabla 12). Estos requisitos se tomaron en cuenta para el análisis del agua residual de la granja Rico Cerdo F&G.

Tabla 12. Requisitos para toma de muestra de agua residual y preservación de las muestras para el monitoreo.

Determinación / Parámetros	Recipiente	Volumen mínimo de muestra	Presentación y conservación	Tiempo máximo de duración
Fisicoquímico				
Temperatura	Polietileno o vidrio	1000 mL	No es posible	15 min
pH		50 mL	No es posible	15 min
DBO5	Polietileno o vidrio	1000 mL	Refrigerar a 4 °C	48 horas
DQO	Polietileno o vidrio	100 mL	Analizar lo más pronto posible o agregar H2SO4 hasta pH menos 2 , refrigerar 4°C	28 días
Sólidos suspendidos Totales (SST)	Polietileno o vidrio	100 mL	Refrigerar a 4 °C	7 días

Fuente: Ministerio del ambiente (MINAM)

3.1.6.2. CONSIDERACIONES DEL LABORATORIO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA, PARA EL ENVIO DE LAS MUESTRAS DE AGUA RESIDUAL.

Para poder analizar los diferentes parámetros del agua residual de la granja Rico Cerdo, se enviaron las muestras al Laboratorio de Agua, Suelo, Medioambiente y Fertirriego de la Facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima (ver precios en anexo 02), bajo las siguientes condiciones:

- Dos litros de muestra en botellas de plástico descartable para los parámetros a analizar.
- Rotular correctamente con la identificación correspondiente a cada muestra.
- Deben ser enviadas en un cooler o caja de tecnopor con gel conservante, antes de las 48 horas.
- Las muestras de agua residual deben ingresar a las instalaciones los días miércoles o jueves.
- La entrega de resultados serán al cabo de 7 días hábiles, desde la fecha de entrada de la muestra.

3.1.6.3. PUNTO DE MUESTREO Y PROCEDIMIENTO PARA LA TOMA DE MUESTRA.

El punto de muestreo en donde se recolectó las muestras de agua residual, fue en la tubería de descarga del efluente a la fosa de oxidación 01. Dicha fosa es en donde se concentran y mezclan las aguas residuales producto del lavado diario de los pisos de las diferentes áreas productivas de la granja. Es por eso que este será el punto de recolección o muestreo para el análisis del agua residual. En la figura 16, se observa la tubería de descarga del agua residual (indica la flecha de color rojo), hacia la fosa de oxidación 01.

Figura 16. Punto de muestreo del agua residual.



Fuente: Rico Cerdo F&G

3.1.6.4. PROCEDIMIENTO PARA LA TOMA DE MUESTRA DE AGUA RESIDUAL.

Los materiales que se usaron para la toma de muestra del agua residual, son los siguientes:

- Dos botellas plásticas de 1 litro.
- Embudo.
- Jarra plástica medidora de 1 litro.
- Cooler hermético.
- Cuatro bolsas de gel conservante de 250 g.

La toma de muestra se realizó el día 25 de agosto a las 10:00 horas, en el momento que realizaban la limpieza (con agua a presión) de las áreas productivas de la granja Rico Cerdo y está desembocaba en la fosa de oxidación 01.

Seguido de lo anterior, se detallará el procedimiento que se realizó para la recolección de la muestra de agua residual.

- a. Primero se llenó la jarra plástica con 1 litro de agua residual, proveniente del lavado de las áreas productivas de la granja.
- b. Seguidamente se colocó el embudo en la botella plástica, para evitar derrames, llenando completamente las dos botellas de plástico.
- c. Se colocaron las dos botellas con 1 litro de agua residual respectivamente, en un cooler mediano con gel conservante.
- d. Finalmente se llevó el cooler (con las dos botellas de agua residual) a la Empresa Olva Courier. Quien lo entregó directamente en las instalaciones del Laboratorio de Agua, Suelo, Medioambiente y Fertirriego de la Facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional Agraria La Molina (Lima).

3.1.6.5. PARÁMETROS A ANALIZAR DEL AGUA RESIDUAL DE LA GRANJA RICO CERDO F&G S.A.C.

Se analizaron los siguientes parámetros: pH, sólidos totales, sólidos volátiles, sólidos suspendidos, nitrógeno total, fósforo total, DBO₅ y DQO.

Se analizaron estos parámetros porque son los que intervienen directamente en la producción de biogás dentro del sistema de Biodigestión. Los sólidos totales indica la cantidad de masa seca que se encuentra en la mezcla, y los sólidos volátiles indica la cantidad de sólidos que pueden ser degradables y se convertirán en biogás.

El parámetro más exacto para estimar la cantidad de biogás producido, es la Demanda química de oxígeno (DQO).

Pero también no debemos dejar de compararlo con los “Límites Máximos Permisibles (LMP) del MINAM para la descarga de efluentes líquidos en alcantarillado de la actividad agroindustrial tales como planta de camales y plantas de beneficio”, incluyendo los mataderos en promedio diario; para poder observar cuán contaminante son las aguas residuales de la granja Rico Cerdo F&G al medioambiente.

3.1.6.6. RESULTADOS Y CUADRO COMPARATIVO ENTRE LOS RESULTADOS DEL AGUA RESIDUAL Y LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES.

Al cabo de 7 días hábiles, la universidad Nacional Agraria La Molina envió los resultados del análisis de las muestras de agua residual de la granja Rico Cerdo (ver anexo 06), que se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 13. Comparación entre análisis de agua residual (purín de cerdo) y LMP

Parámetros	Unidad	Muestra	LMP de la actividad agroindustrial
pH	-	6,96	6,0 - 9,0
Sólidos Totales	mg/L	18 355,56	-
Sólidos suspendidos totales	mg/L	11 930	300
Sólidos volátiles totales	mg/L	5 766,67	-
Demanda bioquímica de oxígeno, por cinco días (DBO₅)	mg O ₂ /L	4 800	250
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	22 210,17	500
Fósforo Total	mg P/L	149,30	40
Nitrógeno Total	mg N/L	621.26	50

Fuente: Elaboración propia.

Observando los resultados de la muestra de agua residual, y comparándolos con las bases técnicas del proceso de biodigestión (ver punto 2.2.5); y los Límites máximos permisibles (LMP) de las actividades agroindustriales (ver tabla 01) podemos concluir que:

- El pH se encuentra en el rango óptimo para desarrollar de manera correcta el proceso de Biodigestión para producir biogás. Ya que como referencia para un buen rendimiento de CH₄ en la producción de biogás debe de mantenerse en un rango de operación de 6,5 y 7,5. El pH es de 6,96 y se encuentra en el rango óptimo. Entonces no va a inhibir la producción de biogás. También se encuentra dentro del rango establecido por el MINAM.

- Los sólidos totales indican la cantidad de materia seca que se encuentra en el agua residual. Tenemos 18355,56 mg/L de sólidos totales, que en porcentaje sería 1,84 % de masa seca, lo cual se refleja a la realidad, ya que en una granja de crianza de cerdos, que utiliza agua para el lavado de sus pisos, el purín de cerdo se encuentra en la relación de 1 – 5%, dependiendo de la cantidad de agua para limpieza que se use.
- Los sólidos volátiles indican la cantidad de materia orgánica a degradarse o fermentar. Tenemos 5766,65 mg/L de sólidos volátiles que se convertirán en biogás.
- La DBO y la DQO, se encuentra en altas concentraciones y superior a lo establecido por el MINAM. Esto se debe a la alta concentración de materia orgánica que se encuentra en estos tipos de aguas residuales. La DQO servirá para hallar la producción estimada de biogás, ya que es el valor más exacto para calcularlo.
- El Nitrógeno Total y el fósforo total están debidamente en altas concentraciones, esto nos quiere decir que el biol o bioabono que se producirá como subproducto, será rico en nutrientes.

3.2. ESTIMACIÓN DEL CONSUMO DE GAS EN EL SISTEMA DE CALEFACCIÓN DE LAS ÁREAS DE MATERNIDAD.

3.2.1. ÁREAS DE MATERNIDAD.

La Granja Rico Cerdo F&G S.A.C., cuenta con dos áreas de maternidad, área de maternidad N° 01 cuenta con 49 jaulas y el área de maternidad N° 02 cuenta con 38 jaulas. A estas áreas llegan las madres, dos días antes de que sea programado su parto.

Esta área es la más delicada durante todo el proceso de crianza, esto se debe a que los lechones son muy susceptibles a los cambios de temperatura, ya que necesitan de una temperatura óptima para su supervivencia. Los lechones pasan en maternidad entre 21 a 23 días, hasta alcanzar una peso entre 7 a 9 kilogramos.

Figura 17. Área de Maternidad de la granja Rico Cerdo F&G



Fuente: Rico Cerdo F&G

3.2.2. CONSIDERACIONES ACTUALES PARA CALEFACCIÓN EN LECHONES RECIEN NACIDOS EN LA GRANJA RICO CERDO F&G.

Los lechones en el momento del nacimiento presentan un intervalo térmico muy estrecho, con una temperatura crítica interior muy alta, de aproximadamente de 32°C a 35 °C. Cuando el lechón nace en un ambiente cuya temperatura está por debajo de dicho rango, tendrá que utilizar energía adicional para mantenerse caliente de manera que en el mejor de los casos dejará de crecer y en el peor consumirá sus reservas energéticas, lo que pondrá en peligro su vida.

En las horas sucesivas al parto es importante que se les garantice a los lechones un microclima ideal para que puedan alcanzar las mamas sin padecer frío. En los primeros cinco días se les debe proporcionar una fuente de calor extra con la finalidad que obtengan el calor necesario, ya que no tienen desarrollado su sistema termorregulador.

Si la fuente de calor no es la adecuada, el lechón permanece cerca de la cerda donde corre más riesgos. La mayor incidencia por aplastamiento se ha observado en las primeras 12-24 horas post-parto, debido a que el lechón en las primeras horas de vida prefiere descansar cerca de la madre, buscando alimento y calor.

El mejor indicador de eficacia de la fuente de calor es el propio lechón. Cuando la fuente de calor está bien ubicada, los lechones se colocan alrededor de la fuente, sin alejarse demasiado ni amontonarse. En cambio cuando se encuentra mal ubicada, los lechones se amontonan unos contra otros, justo en medio de la fuente de calor. Para ser efectiva la fuente de calor debe atraer al lechón, de esta manera permanecerá alejado de la cerda disminuyendo la posibilidad de morir por aplastamiento.

En toda granja, se observan intercambios térmicos que desembocan en un equilibrio. Según la carga de animales y las condiciones exteriores, este equilibrio se traduce por un alza o un descenso de temperatura, lo que va a provocar en algunas ocasiones, la necesidad de instalar sistemas de calefacción o refrigeración.

3.2.3. CALEFACCIÓN ACTUAL EN LAS ÁREA DE MATERNIDAD.

En la granja Rico Cerdo F&G, existe un sistema de calefacción para proporcionarle a los cerdos recién nacidos, la temperatura adecuada y el calor necesario para que tengan un crecimiento normal. Por ello usan calentadores de cerámica infrarrojos a gas (Ver figura 19), ya que el calor se dirige y concentra donde realmente lo necesita, por lo tanto estos calentadores infrarrojos son mejores para el calor concentrado o dirigido. Los calentadores infrarrojos tienen eficiencia energética, no tienen partes móviles, calientan rápidamente, son silenciosos y no se ven afectados por corrientes de aire.

Figura 18. Calentador infrarrojos usados en las áreas de maternidad.



Fuente: Rico Cerdo F&G

A finales de diciembre del 2014, se adquirió 87 de estos calentadores infrarrojos, ya que son 87 jaulas entre las dos áreas de maternidad, un calentador infrarrojo por jaula. En la siguiente tabla se detalla las especificaciones técnicas del producto.

Tabla 14. Especificaciones técnicas del calentador infrarrojo a gas.

Modelo	Dimensión (milímetros)	Consumo de GLP (kg/h)	Salida de calor	
			kW/h	kcal/h
THD2606	Cubierta Out=320*270*13 Plate cerámica=188*135	0,18	2,46	2116

Fuente: Rico Cerdo F&G

3.2.4. HORAS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE CALEFACCIÓN.

Según las recomendaciones que hacen los expertos en producción porcina. Los cerdos recién nacidos necesitan calefacción artificial los primeros 7 días, ya que en el interior de la madre está en un rango de 35°C-37°C, por lo que necesita un aporte artificial para desarrollarse normalmente y no morir en el transcurrir de los días.

La granja Rico Cerdo se encuentra en Reque. El clima del distrito es bastante renombrado por sus características primaverales. Tiene un clima predominantemente sub tropical. Podemos comprobarlo con las temperaturas máximas, medias y mínimas que se registraron en el año 2014. (Ver tabla 14)

Tabla 15. Temperaturas máximas, media y mínimas en la ciudad de Reque en el año 2014.

MES	T° MÁXIMA(° C)	T° MEDIA (° C)	T° MÍNIMA (° C)
Enero	33	28	23
Febrero	33	29	24
Marzo	34	29	24
Abril	32	28	24
Mayo	33	29	24
Junio	30	27	24
Julio	30	27	23
Agosto	29	26	22
Septiembre	29	25	20
Octubre	31	27	22
Noviembre	29	26	22
Diciembre	33	28	23
PROMEDIO	31	27	23

Fuente: www.accuweather.com

Esto nos quiere decir que el cerdo no va a necesitar calefacción las 24 horas del día. Solo necesitará por las noches de 9pm - 8am, con un total de 11 horas al día, los primeros 7 días teóricamente, pero se puede reducir a 5 días dependiendo de cómo vaya evolucionando el lechón. Siendo la temperatura promedio en Reque de 23°C, el lechón en la noche debe estar con una temperatura promedio de 35° C, por medio de los calentadores infrarrojos a gas.

3.2.5. CANTIDAD DE LECHONES NACIDOS Y CANTIDAD DE PARTOS.

Se elaboró una tabla con las fechas semanales de la cantidad de partos que hubo en este año 2015 y la cantidad de lechones que nacieron y que necesitaron calefacción, en las áreas de Maternidad. Se contó a partir del año 2015, ya que es el año donde adquirieron calentadores infrarrojos. Esta tabla servirá para poder estimar el consumo

de gas en las áreas de maternidad. El porcentaje de lechones recién nacidos es del 6% del total de cerdos en la granja.

Tabla 16. Cantidad de marranas y lechones nacidos en las áreas de maternidad de Enero-Junio del 2015.

Mes	Semana	Cantidad marranas que parieron	Cantidad Lechones nacidos
Enero	1	26	260
	2	13	139
	3	11	96
	4	13	107
Febrero	5	28	168
	6	22	153
	7	16	119
	8	14	106
Marzo	9	15	130
	10	17	116
	11	20	136
	12	23	183
Abril	13	27	186
	14	19	151
	15	18	161
	16	13	134
Mayo	17	13	119
	18	21	164
	19	7	67
	20	13	124
Junio	21	13	124
	22	20	145
	23	12	130
	24	15	178

Fuente: Rico Cerdo F&G

3.2.6. CONSUMO MENSUAL DE GAS USADO EN EL SISTEMA DE CALEFACCIÓN DE LAS ÁREAS DE MATERNIDAD.

El combustible que usan los calentadores de cerámica infrarrojo, es el usual gas de cocina, a que estos calentadoras queman el gas en su interior para producir calor. La empresa Rico Cerdo F&G compra semanalmente balones de gas de 10 kilogramos.

Teniendo el consumo teórico de gas (0,18 kg/h) que se da en las especificaciones de los calentadores infrarrojos, las horas de funcionamiento de los calentadores

infrarrojos (11 horas) y los días de calefacción (7 días) que se le da a los lechones recién nacidos; podemos hallar el consumo semanal y mensual de gas desde que se instalaron los calentadores infrarrojos en las áreas de maternidad. Los datos del consumo de gas mensual, se reflejarán en la tabla 14. Tendiendo como dato que la densidad específica del GLP es de 1,83 kg/m³ (Según Aplicaciones Técnicas de Procesos Productivos, 2008)

Tabla 17. Consumo mensual de gas (GLP) para calefacción en las áreas de maternidad.

MES	Consumo de gas (kg/mes)	Consumo de gas (balones/mes)	Consumo de gas (m ³ /mes)	Consumo de gas (soles/mes)
Enero	436,59	44	238,57	1 540
Febrero	554,4	55	302,95	1 925
Marzo	519,75	52	284,02	1 820
Abril	533,61	53	291,59	1 855
Mayo	374,22	37	204,49	1 295
Junio	415,8	42	227,21	1 470

Fuente: Elaboración propia.

Al ver la tabla anterior se tiene un promedio de consumo de gas de 227,21 m³/mes. Por lo que se necesitará generar esta cantidad de gas, para poder abastecer a las áreas de maternidad.

Por otro lado el consumo de GLP, en las áreas de maternidad para calefacción de los cerdos recién nacidos, genera un costo promedio mensual de S/. 1 650,83. El consumo anual de GLP sería de S/. 19 810.

3.3. PROPUESTA Y DISEÑO DEL SISTEMA DE BIODIGESTIÓN PARA LA OBTENCIÓN DE BIOGÁS.

3.3.1 DETERMINAR Y SELECCIONAR EL TIPO DE SISTEMA DE BIODIGESTIÓN A USARSE EN LA GRANJA RICO CERDO, PARA LA OBTENCIÓN DE BIOGÁS.

3.3.1.1 ANTECEDENTES.

Para uso en granjas agropecuarias se recomiendan y se utilizan dos tipos de biodigestores, el de tipo laguna cubierta y el tubular o de flujo pistón, debido a su gran versatilidad, capacidad de producción de biogás y la amplia disponibilidad de materiales. Sin embargo ambos tienen diferencias significativas, las cuales se exponen en la siguiente tabla.

Tabla 18. Características del biodigestor tubular o flujo pistón y el biodigestor tipo laguna cubierta.

Características	Biodigestor tubular o de flujo pistón	Biodigestor tipo laguna cubierta
Espacio necesario	Relativamente poco, dependiendo de la capacidad buscada.	Requiere cierto espacio horizontal.
Vida útil	Aproximadamente de 5 a 8 años.	Aproximadamente de 12 a 15 años.
Material de construcción	Concreto, bolsa de polietileno con filtro UV, tubería de PVC.	Concreto, geomembranas, tuberías de PVC.
Mantenimiento necesario	Limpieza e inspección de toda la(s) bolsa(s) por posibles fugas o rajaduras. Limpieza de pileta de carga y descarga.	Limpieza de carga y descarga e inspección de la superficie de la geomembrana.
Tipo de flujo	Continuo	Continuo
Capacidad	Capacidad baja, se recomienda para granjas con pocos animales. Requiere de una gran longitud para tener capacidad.	Capacidad Alta, depende de su área se recomienda para granjas con bastantes animales.
Tamaño de la Granja	Pequeñas granjas rurales.	Medianas y grandes instalaciones pecuarias.
Producción de biogás	Baja producción de biogás	Mayor producción de biogás
Tecnología	Baja tecnología, no requiere de un sistema de agitación ni de calentamiento.	Baja-media tecnología(agitación, calentamiento, medios de cultivo)

Fuente: Orellana, Alejandro (2010).

3.3.1.2 SELECCIÓN DEL SISTEMA DE BIODIGESTIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE RESIDUOS GANADEROS.

➤ **Criterios de evaluación.**

Los criterios que se evaluarán para seleccionar el sistema de biodigestión adecuado para la granja Rico Cerdo F&G son los siguientes. Se tomaron en cuenta estos criterios en base a los que se usan para elegir la tecnología para tratar las aguas residuales en una industria, de una zona, etc; ya que se asemeja bastante a lo que se busca en este sistema de biodigestión para obtener biogás.

- A. Tiempo de retención del agua residual.
- B. Área mínima.
- C. Bajo consumo de energía.
- D. Flexibilidad para tratar cargas de agua residual variables.
- E. Operación sencilla de confianza.
- F. Efluente final uniforme y de alta calidad.
- G. Eficacia del tratamiento
- H. Coste mínimo.
- I. Minimización de lodos generados.

3.3.1.3. MÉTODO DE FACTORES PONDERADOS.

Se utilizó este método para seleccionar el biodigestor adecuado para tratar las aguas residuales (excretas, orina y agua de lavado) de la granja Rico Cerdo F&G.

Con los criterios de evaluación ya propuesto, se evaluó la importancia relativa de cada factor con respecto a otro; para ello se utilizó una matriz de enfrentamiento. Se establece como regla, lo siguiente:

- Se le asignó un valor de uno (1) a aquel factor “más importante” que el factor con el cual es comparado.
- Se le asignó un valor de cero (0) si el factor analizado es “menos importante” que el factor con el cual es comparado.
- En casos donde la “importancia es equivalente”, ambos factores tendrán el valor “1” en el casillero correspondiente.
- En la columna del extremo derecho se contabilizaran los puntos para cada factor y se evaluara el porcentaje correspondiente, el cual representara la ponderación de dicho factor.

Se procedió a realizar la matriz de enfrentamiento con los dos biodigestores más usados en granjas agropecuarias:

Tabla 19. Ponderación de los Factores a analizar.

Factores	A	B	C	D	E	F	G	H	I	Total	Ponderación
A	X	1	1	1	1	1	1	1	1	8	15%
B	1	X	1	1	0	1	0	0	1	5	10%
C	0	0	X	0	0	0	0	1	0	1	2%
D	1	1	1	X	1	1	0	1	1	7	13%
E	0	1	1	0	X	1	1	1	1	6	12%
F	1	1	1	1	0	X	1	1	1	7	13%
G	1	1	1	1	1	1	X	1	1	8	15%
H	1	1	1	1	0	0	0	X	1	5	10%
I	1	0	1	1	0	1	1	0	X	5	10%

Fuente: Elaboración propia.

Habiendo calculado la ponderación de cada factor, se procede a darle una calificación. Para la calificación se puede utilizar la siguiente puntuación:

ESCALA	NIVEL
Excelente	= 10
Muy bueno	= 8
Bueno	= 6
Regular	= 4
Deficiente	= 2

Luego se debe evaluar el puntaje que debe de tener cada factor, en cada biodigestor propuesto, multiplicando la ponderación o porcentaje de importancia por la calificación dada a cada factor.

Finalmente, para cada sistema de biodigestión propuesto, se realizó la sumatoria de todos los puntajes

Tabla 20. Calificación de los Biodigestores usados para granjas agropecuarias.

Factores	% Importancia	Biodigestor tubular o flujo pistón		Biodigestor Tipo Laguna Cubierta	
		Escala	Puntaje	Escala	Puntaje
A	15	6	90	8	120
B	10	6	60	8	80
C	2	8	16	6	12
D	13	2	26	10	130
E	12	6	72	6	72
F	13	4	52	8	104
G	15	4	60	8	120
H	10	8	80	6	60
I	10	6	60	6	60
TOTAL			516		758

Fuente: Elaboración propia.

En base a los requerimiento de la granja Rico Cerdo F&G, y habiendo analizado los factores para la selección de la mejor tecnología para este tratamiento, se selecciona el Biodigestor tipo laguna cubierta por su mayor eficacia en el tratamiento, esto quiere decir que producirá más biogás, al contar con agitación necesitará menos tiempo de retención del agua residual y la flexibilidad para tratar cargas de aguas residuales variables. Aunque incurre en una mayor inversión inicial.

3.3.2 PROPUESTA DEL SISTEMA DE BIODIGESTIÓN ELEGIDO PARA LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS EN LA GRANJA RICO CERDO F&G S.A.C., PARA LA OBTENCIÓN DE BIOGÁS.

3.3.2.1. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE BIODIGESTIÓN PROPUESTO.

A. TRATAMIENTO PRELIMINAR.

Las diferentes clases de materia prima requerirán de tratamiento diferentes, dependiendo de la consistencia de dicha materia prima (que tan sólida o líquida es).

El pre tratamiento que se le da a un sistema de biodigestión, es la adición de agua, dependiendo del sustrato a añadir y del sistema de manejo de excretas con el que cuenta la unidad productiva.

Según SAGARPA (Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación), en su manual sobre: “Especificaciones técnicas para biodigestores pequeños tipo laguna cubierta”, se podrá considerar una adición mínima de relación entre el agua de lavado y sólidos (excretas) de 3:1 y máxima de 9:1. Para la granja Rico Cerdo, no es necesaria la adición de agua a las excretas, esto se debe a que el sistema de manejo de excretas en dicha granja, es mediante el lavado de los pisos de las áreas productivas; es decir, las excretas ya tienen agregada agua mediante esta limpieza.

En dicho lavado se obtiene una relación de estiércol-agua de lavado de 1:4, es decir que por cada 100 kg. de estiércol de cerdo, se le agrego 400 litros de agua. En este caso se ve reflejado según el consumo de agua subterránea para el lavado de los pisos (Ver anexo 03).

Ante todo lo descrito, es importante también darle un pre tratamiento de desbaste por rejillas, ya que al realizar la limpieza de los pisos de las áreas productivas de la granja, estas arrastran restos de comidas, paja del área de maternidad y otros materiales solidos que pueden ser perjudiciales para el biodigestor. Mediante estas rejillas se retendrá todo material solido de gran tamaño, para obtener un buen funcionamiento del proceso de biodigestión.

Tanque de alimentación.

Antes de ingresar al biodigestor, las aguas residuales, llegan a un tanque de alimentación para contener el volumen diario con el cual se le cargará al biodigestor. La mezcla se realiza una vez al día y se programa para que toda esta carga se alimente al biodigestor en 24 horas en forma automática o manual. Este volumen incluye el volumen de la masa y del agua que se utiliza para la dilución, en este caso la masa sería las excretas del cerdo, que ya contienen agua de dilución, producto del lavado diario que se le da a los pisos de las diferentes áreas productivas de la granja.

Este tanque de alimentación servirá para sedimentar los materiales pesados (piedra, tierra, etc.) y materiales sobrenadantes, que proporciona un fluido libre de materiales extraños.

B. TRATAMIENTO SECUNDARIO

Después de pasar por el tanque de alimentación y el desbaste, estas aguas residuales sin materiales sólidos de gran tamaño, pasan al biodigestor en donde se realizará el proceso de digestión anaeróbica. La digestión anaeróbica, convierte los compuestos complejos en compuestos simples, dando como resultado final la liberación de una mezcla de gases. De esta mezcla, el gas que representa el mayor porcentaje es el metano (uno de los principales gases que ocasiona el efecto invernadero).

Las aguas residuales que se almacenan en el biodigestor tipo laguna cubierta, pasan un determinado tiempo (tiempo de retención hidráulica) para poder fermentarse y producir biogás. Mayormente sus tiempos de retención son en días, como mínimo 10 días y un máximo de 45 días, dependiendo de la temperatura ambiental y del tipo de sustrato.

Transcurrido el tiempo de retención, se obtendrá biogás producto de la fermentación, almacenándose en la cubierta del biodigestor.

Este biogás pase por una etapa de desulfuración, donde se elimina el H_2S , mediante un proceso netamente biológico. Se utiliza un filtro de retención, en donde en la superficie del material de relleno de filtro se forma una biopelícula integrada por bacterias sulfuro-oxidantes, es decir microorganismo especializados en la oxidación de compuestos reducidos de azufre, proceso por el cual obtienen la energía necesaria para su crecimiento. Estos filtros o biorreactores permiten eliminar el H_2S con un costo de explotación realmente bajo, sin la utilización de reactivos químicos. El biogás limpio de H_2S , pasa por una filtración para reducción de gases no combustibles, aumentando el potencial energético y transformando el biogás en biometano.

El efluente que sale del biodigestor, se almacena en una laguna de descarga.

Para los lodos que se extraen del biodigestor, mediante bombas, se recomienda secarlos para su utilización como fertilizante orgánico. Para ciudades con climas fríos no es recomendable instalar un lecho de secado de lodos, estos lodos se separan mediante cribados o separador de sólidos.

3.3.2.2. PROCESO PRODUCTIVO

➤ Diagrama de proceso y de flujo.

El siguiente diagrama de proceso para la obtención de biogás, consta de cinco etapas.

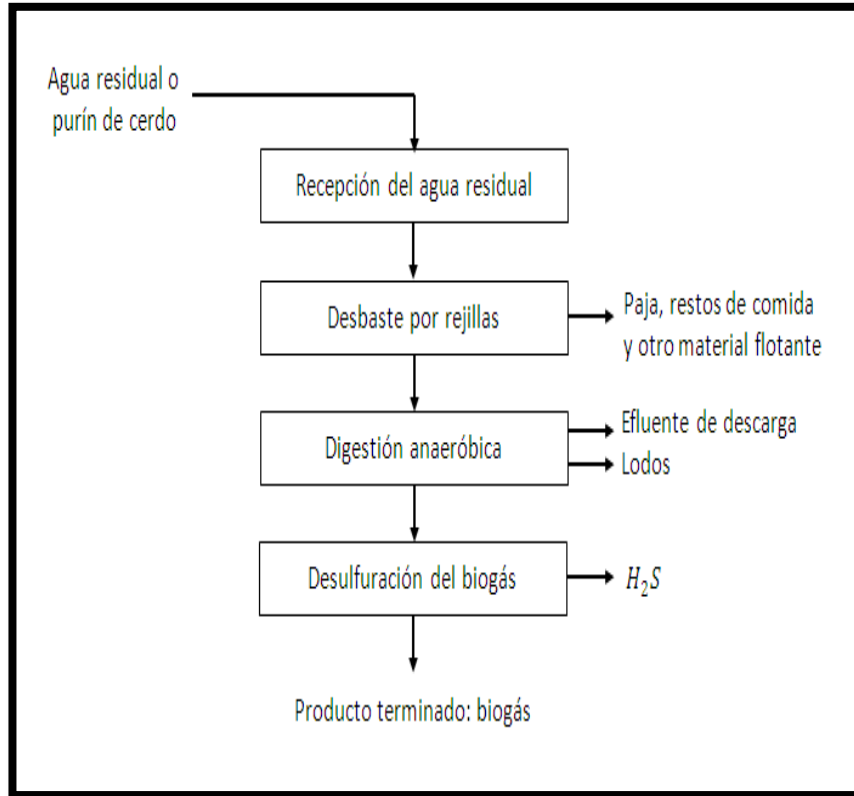
En la primera etapa, recepción del agua residual, ingresará el agua residual o purín de cerdo al tanque de alimentación, que servirá para controlar el caudal diario, con que se alimentara al biodigestor.

En la segunda etapa, desbaste por rejillas (se encuentra dentro del tanque de alimentación), servirá para retener material solido de gran tamaño (paja, restos de comida y otro material flotante) que pueda ser perjudicial para el funcionamiento del biodigestor.

La tercera etapa, digestión anaeróbica, es la etapa más importante en todo el proceso de obtención de biogás, ya que es en esta etapa en donde la materia orgánica se fermentará para poder producir biogás.

Finalmente el biogás que se generó en la tercera etapa, pasará por una desulfuración, para eliminar el ácido sulfúrico (H_2S) presente en el biogás, ya que es altamente corrosivo.

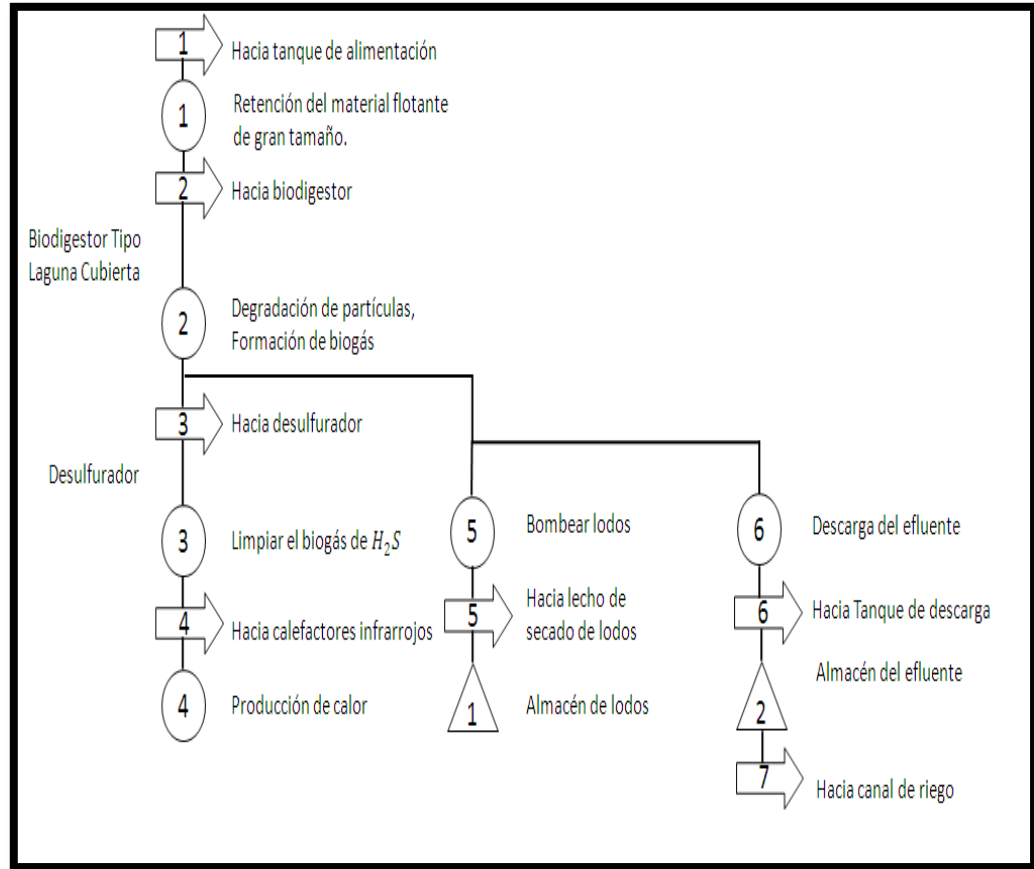
Figura 19. Diagrama de proceso del sistema de biodigestión para la obtención de biogás



Fuente: Elaboración propia.

A continuación se mostrará el siguiente diagrama de flujo del sistema de biodigestión, para obtener biogás y como subproductos se obtiene biol o bioabono.

Figura 20. Diagrama de operaciones del sistema de biodigestión para obtener biogás.



Fuente: Elaboración propia.

3.3.2.3. DISEÑO DEL SISTEMA PROPUESTO PARA LA OBTENCIÓN DE BIOGÁS.

En las zonas tropicales es importante aprovechar al máximo las altas temperaturas ambientales y el fuerte sol para lograr una óptima degradación de la materia orgánica y una máxima producción de biogás.

Es por eso que se propuso el sistema de biodigestión, con un biodigestor tropicalizado tipo laguna cubierta, para que el sol irradie sobre la superficie del biodigestor y caliente la biomasa dentro del biodigestor, acelere la degradación de la biomasa y maximice la producción de biogás.

Según Moncayo (2014), las características básicas de un biodigestor apropiado para clima tropical son las siguientes:

- Uso extensivo de materiales de construcción existentes en cada país.
- Aprovechamiento del clima y radiación solar para maximizar la producción de biogás.
- Bajos costos de construcción.
- Fácil de operar de operar y mantener

El concepto básico de diseño es la construcción de una laguna semienterrada o bajo tierra y de un muro perimetral donde se sujeta la membrana. El fondo de la laguna, es revestido con un material impermeable y sobre la cubierta de la laguna se coloca una membrana flexible que almacena el biogás.

Para este proyecto, se diseñó el sistema de biodigestión propuesto según el “Manual de dimensionamiento y diseño de biodigestores industriales para clima tropical. Biodigestores tropicalizados (2014)”, elaborado por la empresa “AQUALIMPIA ENGINEERING”

3.3.2.3.1 Especificaciones del tanque de alimentación.

Los tanques de alimentación, se dimensionan para el volumen diario de alimentación al biodigestor. Este tanque servirá para hacer la mezcla (biomasa y agua de dilución). En este caso las excretas entran al tanque de alimentación ya diluido con las aguas subterráneas, que se usaron en el lavado de los pisos de las diferentes áreas productivas de la granja Rico Cerdo F&G.

Este tanque de alimentación servirá para sedimentar los materiales pesados (piedra, tierra, etc.) y materiales sobrenadantes, para proporcionar un fluido libre de materiales extraños.

El volumen del tanque depende de la continuidad en la alimentación. En algunos casos se prefiere dimensionar el tanque de alimentación para que almacene la mezcla de biomasa con agua requerida en un periodo de 1 a 2 horas. Para este proyecto se dimensionará el tanque de alimentación para que almacene el flujo de una hora.

Se dimensionó el tanque de alimentación con el caudal máximo al día ($m^3/día$) de agua residual, que se registró en el año 2014 (ver tabla 21).

Tabla 21. Caudal máximo, promedio y mínimo de agua residual o purín de cerdo, que se registró en el año 2014.

	Caudal (m³/día)
Caudal máximo	51,78
Caudal promedio	49,11
Caudal mínimo	45,92

Fuente: Elaboración propia.

Según Moncayo (2014), en su libro: Biodigestores tropicalizados. Recomienda que al caudal definido se le añada un 20% adicional, para soportar picos de cargas orgánicas.

$$Q = 51,78 \frac{m^3}{día} * 1,2 = 62,14 \frac{m^3}{día}$$

Por otro lado, sabiendo que la limpieza de los pisos de las diferentes áreas productivas de la granja se realiza en un máximo de 6 horas; es decir para un día se considera 6 horas de limpieza, donde generan agua residual; y como se mencionó anteriormente que se dimensionará el tanque de alimentación para que almacena el flujo de una hora. Se realizó lo siguiente:

$$Q = 62,14 \frac{m^3}{día} * \frac{día}{6 \text{ horas}} = 10,36 \frac{m^3}{h}$$

Por lo tanto el volumen útil del tanque de alimentación será de 10,36 m³.

No existe una regla definida para dimensionar estos tanques de alimentación. Pueden ser de forma cilíndrica, cuadrangular o rectangular. En este caso se optó por dimensionar este tanque de forma rectangular, asumiendo que el largo será dos veces mayor que el ancho para así disminuir el número de rejillas que se utilizaran dentro del tanque de alimentación.

Se le añadió un borde o altura libre al tanque de alimentación de 0,30 metros, para evitar derramamientos. Y una altura de 1,5 metros (Moncayo, 2014)

Considerando el borde o altura libre, el volumen total del tanque de alimentación será de 12,45 m³, con las siguientes dimensiones.

Tabla 22. Dimensiones del tanque de alimentación.

Dimensiones	
Volumen total	12,45 m ³
Volumen útil	10,36 m ³
Altura	1,5 m
Borde libre	0,30 m
Largo	3,7 m
Ancho	1,86 m

Fuente: Elaboración propia

Desbaste por rejilla.

Se colocaran rejillas gruesas combinadas con barras horizontales y verticales en el tanque de alimentación, justo antes de que pasan a las tuberías de descarga hacia el biodigestor, como se muestra en la siguiente figura.

Figura 21. Rejillas usadas en tanques de alimentación de sistemas de biodigestión.



Fuente: ABC Rural, Paraguay (2014)

Según Reynolds y Richard (1996) las normas de diseño para rejillas recomendadas son las siguientes.

- Ancho de la rejilla (a_b):

El ancho de la rejilla recomendada = 10mm.

- *Abertura de la rejilla (e_b):*

La abertura de la rejilla recomendada = 50 mm

Se asume que las rejillas serán colocadas a 1 metro de distancia de las tuberías de alimentación al biodigestor, que se encuentran dentro del tanque de alimentación. Y a una altura por debajo del borde libre (0,30 metros).

Se consideran rejillas con pletinas cilíndricas de 2”*1/4” (50mm*10mm). El resumen de las dimensiones de las rejillas se refleja en la siguiente tabla.

Tabla 23. Dimensiones del sistema de rejillas.

Ancho del canal o tanque de alimentación (a_{canal})	1860 mm
Altura del canal o tanque de alimentación (h_{canal})	1500 mm
Diámetro de pletina	10 mm
Separación entre ejes de pletina (e)	60 mm
Número de pletinas verticales ($n = a_{\text{canal}} / e$)	31 unid.
Número de pletinas horizontales ($n = h_{\text{canal}} / e$)	25 unid.

Fuente: Elaboración propia.

3.3.2.3.2. Especificaciones del biodigestor tipo laguna cubierta.

A. Selección del tiempo de retención hidráulico.

En digestores continuos y semicontinuos el tiempo de retención se define como el valor en días del cociente entre el volumen de biodigestor y el volumen de carga diaria. De acuerdo al diseño del digestor, el mezclado y la forma de extracción de los efluentes pueden existir variables diferencias entre los tiempos de retención de líquidos y sólidos debido a lo cual suelen determinarse ambos valores.

La fracción de materia orgánica degradada aumenta al aumentarse el TRH, sin embargo la producción volumétrica de metano (producción por unidad de digestor) disminuye, una vez superado el óptimo. Por eso para determinar el TRH que optimiza el proceso de digestión, nos basamos en referencias de plantas de biogás existentes que trabajan con este tipo de sustrato.

Como se mencionó anteriormente el TRH está íntimamente ligado con dos factores: el tipo de sustrato y la temperatura del mismo. El TRH se determina en base a la temperatura de la biomasa y la temperatura promedio ambiental de la zona. La zona donde se ubicará el sistema de biodigestión es en el distrito de Reque que posee un clima tropical. En el año 2014 se registró una temperatura mínima de 23°C, temperatura promedio de 27°C y una temperatura máxima de 31°C (Ver tabla 12). A menor temperatura ambiental mayor ser el TRH necesario para la degradación de la materia orgánica. A mayor temperatura ambiental, menor TRH.

Tabla 24. Tiempo de retención hidráulica (TRH) en relación a la temperatura ambiental

Temperatura ambiental (°C)	TRH (días)
15	56
27	30
37	24
49	16

Fuente: Thomas Johansson (1993)

Es por ello que se seleccionó un tiempo de retención hidráulica de 30 días para este tipo de sustrato, debido que el purín de cerdo se encuentra a temperatura ambiente, ya que no existe un tratamiento previo que eleve su temperatura, porque solo es una dilución de las excretas al combinarse con el agua subterránea para la limpieza. Y la temperatura promedio que se encuentra en Reque es de 27 °C Este dato servirá para hallar el volumen útil de mi biodigestor.

B. Carga diaria para alimentar al biodigestor.

La carga diaria con la que se alimenta diariamente al biodigestor, se ve definido en la tabla 18. Para poder dimensionar el biodigestor se trabajó con el caudal diario máximo (51,78 m³/día).

C. Construcción de la laguna para el biodigestor.

La laguna es la parte más importante de un biodigestor de laguna cubierta. La excavación para el biodigestor se realizará con medios manuales y maquinaria.

El suelo debe ser apisonado y compactado previo a la colocación de la membrana. La rasante, será uniforme y libre de cualquier objeto filudo, piedras o con puntas que puedan dañar la geomembrana. La rasante del biodigestor se debe construir plana, uniforme y sin huecos.

El fondo y taludes, serán revestidos de una capa delgada de 4cm de hormigón para igualar las irregularidades del suelo. La capa de hormigón servirá para estabilizar el talud.

El dimensionamiento geométrico del sistema se calcula a partir del volumen total del biodigestor, utilizando la ecuación con la que se estima un cuerpo geométrico de forma trapezoidal cuadrangular o rectangular (pirámide invertida truncada). La fórmula es la siguiente:

$$V_{BD} = \frac{h}{3} * (A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 * A_2})$$

Donde:

V_{BD} = Volumen útil de biodigestor

h = Altura del biodigestor

A_1 = Área del piso

A_2 = Área del nivel máximo de agua o de la corona

Para este caso se dimensionó el biodigestor a partir de la fórmula de la pirámide invertida truncada de forma rectangular.

Cálculo del volumen útil del biodigestor

Se calculó el volumen útil del biodigestor multiplicando la carga diaria de alimentación (caudal máximo) por el tiempo de retención hidráulico dado para este sistema.

Caudal diario de alimentación = 51,78 m³/día

Tiempo de retención hidráulica (TRH) = 30 días

$$V_{BD} = \text{Carga diaria de alimentación} * TRH$$

$$V_{BD} = 51,78 \frac{m^3}{día} * 30 \text{ días}$$

$$V_{BD} = 1553,4 m^3$$

Según el “Manual de dimensionamiento y diseño de biodigestores industriales para clima tropical. Biodigestores tropicalizados (2014)”, al volumen calculado se le debe de dar un 20% de volumen adicional (volumen de seguridad) para soportar picos de carga orgánica. Entonces se realizará lo siguiente:

$$V_{BD} = 1553,4 m^3 * 1,2$$

$$V_{BD} = 1864 m^3$$

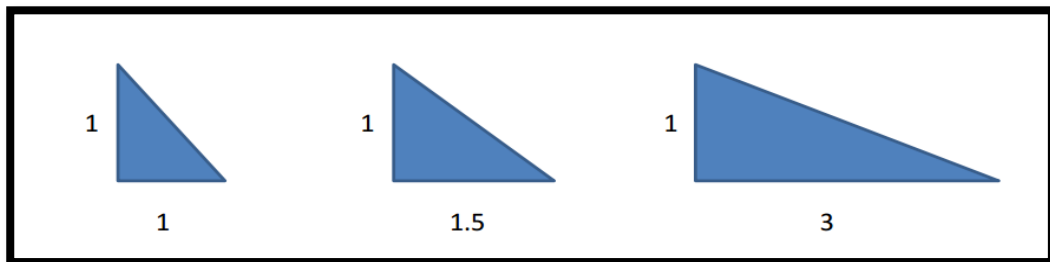
Calculo de las áreas del biodigestor

Según el Manual de Aqualimpia sobre los biodigestores tropicalizados, la altura debe estar entre 3 a 4 metros.

Para este proyecto se eligió una altura de 4 metros, que es el más recomendable para biodigestor de gran volumen.

El talud de las paredes del biodigestor deberá de ser 1:3 y no mayor de 1:1 (Ver figura 22) para la colocación de la geomembrana. Si los taludes aumentan a 1:1 las paredes se volverán inestables. Se utilizó para este biodigestor un talud de 1:1, ya que es el recomendado por el Manual de Biodigestores Tropicalizados.

Figura 22. Medidas de los taludes para biodigestores de laguna cubierta.



Fuente: SAGARPA (2013)

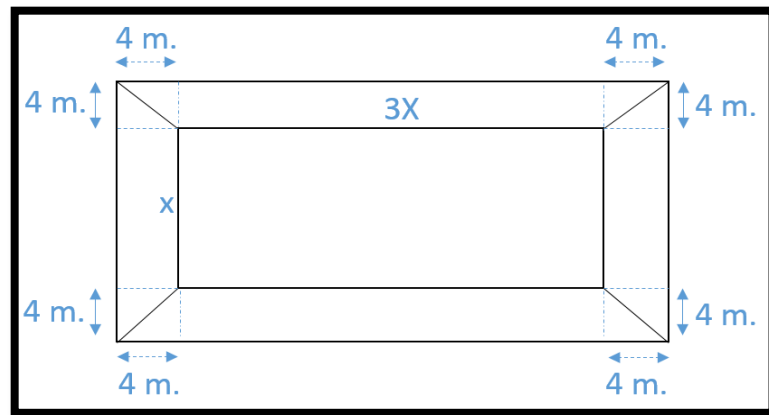
Por lo tanto conociendo la altura (4 metros), el volumen del biodigestor y sabiendo que es de forma pirámide truncada rectangular. Conociendo estos valores se halló las medidas del área del piso (A_1) y las medidas de la corona (A_2).

De acuerdo al “Manual de Construcción y Operación de Planta de Biogás” del Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial, el largo del piso y de la corona deben ser 3 veces el ancho de los mismos (ver figura 23). Es decir:

$$Largo = 3x$$

$$Ancho = x$$

Figura 23. Vista superior de una pirámide truncada rectangular.



Donde:

$$h = 4 \text{ metros}$$

$$A_1 = 3x^2$$

$$A_2 = (8 + 3x)(8 + x) = 3x^2 + 32x + 64$$

Entonces se procede a realizar los cálculos respectivos:

$$V_{BD} = \frac{h}{3} * (A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 * A_2})$$

$$1864 \text{ m}^3 = \frac{4 \text{ m.}}{3} * (3x^2 + 3x^2 + 32x + 64 + \sqrt{(3x^2 + 32x + 64) * 3x^2})$$

$$1334 = 6x^2 + 32x + \sqrt{9x^4 + 96x^3 + 192x^2}$$

$$x = 9,8 \text{ metros}$$

Entonces reemplazando tenemos el cálculo de las áreas correspondientes de la laguna del biodigestor.

Donde:

$$A_1 = 3 * 9,8^2 = 288,12 \text{ m}^2$$

$$A_2 = (8 + 3 * 9,8\text{m}) * (8 + 9,8) = 665,72 \text{ m}^2$$

Los datos de las medidas de la laguna del biodigestor se reflejaran en la siguiente tabla:

Tabla 25. Dimensiones de la laguna del biodigestor tipo laguna cubierta.

		Medidas
		Volumen 1864 m ³
		Altura 4 m
Piso de la laguna del biodigestor	Largo 1	29,4 m
	Ancho 1	9,8 m
Corona del biodigestor	Largo 2	37,4 m
	Ancho 2	17,8 m

Fuente: Elaboración propia.

D. Muro perimetral para sujetar la membrana de cubierta.

La membrana de cubierta del biodigestor se sujeta en un muro perimetral de hormigón armado, ladrillo o bloque de hormigón reforzado con varillas de acero y sobre ella se realiza la unión por medio de las platinas y de los pernos de anclaje. Dependiendo del tamaño del biodigestor y de la altura del muro se requiere de una cimentación en forma de zapata corrida sencilla.

Existen varias alternativas para la construcción del muro perimetral. No hay una receta válida para todos los casos. Para cada proyecto se debe analizar cuál es la opción más favorable.

Según el Manual de dimensionamiento y diseño de biodigestores industriales para clima tropical, se usará un muro perimetral de bloque reforzado con varillas de acero, levantado sobre cimentación en forma de zapata corrida. Ya que es el más recomendable para biodigestores de un promedio de 2500 m³. Las especificaciones son las siguientes:

- El ancho de la pared será de 0,40 metros.
- La altura es de 1 metro.
- Bloques de 0,20*0,20*0,40 metros reforzadas con varillas de acero.

Según el SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural, Pesca y Alimentación; México) en su Programa curso Fortalecimiento institucional de sistemas de biodigestión (2013); recomienda, las siguientes especificaciones para la zanja de anclaje, las cuales fueron tomadas para el desarrollo de este proyecto.

- A un metro de distancia del inicio del talud.
- Ancho de 0,50 metros.
- Profundidad de 0,90 metros.

E. Material para cubrir el fondo y cubierta del biodigestor

El fondo del biodigestor y la cubierta en donde se almacenará el biogás, será recubierto con geomembrana de caucho EPDM (etileno, propileno, dieno, monómero) ya que la membrana debe ser de un material flexible como lo es el caucho. A continuación se detallan las características que deben tener las membranas de cubierta para biodigestores:

- Altamente elongable.
- Resistencia a los rayos UV
- Resistente a la rasgadura y los punzonamientos.
- Resistentes a ácidos y sustratos agresivos.
- Baja permeabilidad al biogás.
- Resistente a las inclemencias del tiempo.
- Alta vida útil.

Las membranas de EPDM, tienen larga vida útil debido a sus características físico químicas, como la resistencia a aguas agresivas, biogás, humedad, elongación, rasgado, etc. La vida útil de estas membranas es de 15 a 20 años. Las membranas de este material pueden estirarse hasta el 400% de su tamaño sin sufrir daños.

Figura 24. Membrana EPDM para biodigestores de laguna cubierta



Fuente: Moncayo, Gabriel. (2014)

El consumo de geomembrana de caucho EPDM, que se requerirá para el fondo del biodigestor, se detalla en la tabla 26.

Tabla 26. Dimensiones de la geomembrana EPDM para impermeabilizar la laguna del biodigestor

Dimensiones de la geomembrana para impermeabilizar		
	Largo (m)	Ancho (m)
Piso del biodigestor	29.4	9.8
Desarrollo de Talud	8	8
Vereda antes del muro perimetral	1	1
Muro perimetral	1	1
Dimensiones de la geomembrana para impermeabilizar	39.4	19.8
Desperdicio de geomembrana (13% más)	5	3
Dimensión total de geomembrana para impermeabilizar	44.52	22.37
Área total de geomembrana para impermeabilizar (m²)	996	

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto las dimensiones de la geomembrana EPDM, para cubrir el biodigestor y captar el biogás producido, se detalla en la tabla 27.

Tabla 27. Dimensiones de la geomembrana EPDM para cubierta del biodigestor.

Dimensiones de la geomembrana para cubierta del biodigestor		
	Largo (m)	Ancho (m)
Corona del biodigestor	37.4	17.8
Vereda antes del muro perimetral	1	1
Espesor del muro perimetral	0.5	0.5
Dimensiones de la geomembrana para cubierta	38.9	19.3
Desperdicio de geomembrana (13% más)	5	3
Dimensión total de geomembrana para cubierta.	44	22
Área total de geomembrana para cubierta (m²)	959	

Fuente: Elaboración propia

En las tablas 26 y 27, para hallar las dimensiones totales de la geomembrana EPDM para la cubierta y el fondo del biodigestor, se considera un porcentaje del 13% por desperdicios de geomembrana que se pueda generar a la hora de colocarlos en el biodigestor. Se considera este 13% más, según las especificaciones de los especialistas de la empresa CIDELSA, dedicada a la construcción de biodigestores en Perú.

3.3.2.3.3. Especificaciones de la laguna de descarga.

La laguna de descarga, se dimensionó para que almacene el efluente del biodigestor. Teóricamente el 75% de la DQO se degrada en el biodigestor, por lo que el 25% debe de degradarse en la laguna de descarga para cumplir con la normativa de los L.M.P. para plantas agroindustriales.

El efluente de la laguna de descarga, dependerá del volumen del afluente al biodigestor y, del aprovechamiento del afluente, como fertilizante en la agricultura o de su comercialización, y de la normativa de descarga que se tenga que cumplir.

La laguna de descarga se ubicara en una zona baja del terreno, aguas abajo del biodigestor. La profundidad de las lagunas debe ser de 1 a 2 metros; en este caso se consideró la altura máxima de 2 metros ya que se trabaja con volúmenes grandes de purín de cerdo.

El talud a usarse para la laguna de descarga será en relación de 1:2, para evitar que crezcan plantas en el fondo. La forma geométrica que tendrá la laguna de descarga será la de pirámide truncada cuadrangular.

Entonces se dimensionó la laguna de descarga para cumplir la normativa.

Donde:

$V_{TD} = \text{Volumen del tanque de descarga}$

Efluente de descarga del biodigestor: $Q = 51,78 \frac{m^3}{\text{día}}$

Al igual que el biodigestor se le da un 20% para contrarrestar cargas máximas

$$Q = 51,78 \frac{m^3}{\text{día}} * 1,2 = 62,14 \frac{m^3}{\text{día}}$$

$$\text{Carga contaminante} = 22,21017 \frac{kg}{m^3} \text{DQO} * 0,25 = 5,55 \frac{kg}{m^3} \text{DQO}$$

$$\begin{aligned} \text{Volumen de carga contaminante} &= 62,14 \frac{m^3}{\text{día}} * 5,55 \frac{kg}{m^3} \text{DQO} \\ &= 344,88 \frac{kg \text{DQO}}{\text{día}} \end{aligned}$$

La carga orgánica máxima permisible para la degradación de la materia orgánica en lagunas aeróbicas con profundidades de 1-2 metros es de:

$$LMP \text{ DQO} = 0,50 \frac{kg \text{DQO}}{m^3} \text{ (Ver tabla 10)}$$

Por lo tanto el volumen requerido de la laguna es de:

$$V_{TD} = \frac{344,88 \frac{kg \text{DQO}}{\text{día}}}{0,5 \frac{kg \text{DQO}}{m^3 * \text{día}}} = 689,76 m^3$$

Teniendo el volumen de la laguna de descarga, se procedió a calcular las áreas del piso (A_1) y de la corona (A_2). Se tomó en cuenta también que el largo es tres veces el ancho, como en el biodigestor (Ver figura 23).

$$\text{Largo} = 3x$$

$$\text{Ancho} = x$$

Donde:

$$h = 2 \text{ metros}$$

$$A_1 = 3x^2$$

$$A_2 = (8 + 3x)(8 + x) = 3x^2 + 32x + 64$$

Entonces se procede a realizar los cálculos respectivos:

$$V_{TD} = \frac{h}{3} * (A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 * A_2})$$

$$689,76m^3 = \frac{2 m.}{3} * (3x^2 + 3x^2 + 32x + 64 + \sqrt{(3x^2 + 32x + 64) * 3x^2})$$

$$970,64 = 6x^2 + 32x + \sqrt{9x^4 + 96x^3 + 192x^2}$$

$$x = 8 \text{ metros}$$

Entonces reemplazando tenemos el cálculo de las áreas correspondientes de la laguna de descarga.

Donde:

$$A_1 = (3 * (8m)^2) = 192 m^2$$

$$A_2 = (8 + 3 * 8m) * (8 + 8) = 512 m^2$$

Los datos de las medidas de la laguna del biodigestor se reflejaran en la siguiente tabla:

Tabla 28. Dimensiones de la laguna de descarga.

		Medidas
Volumen		689,76 m ³
Piso de la laguna de descarga	Largo 1	24 m
	Largo 2	32 m
Corona de la laguna de descarga	Ancho 1	8 m
	Ancho 2	16 m

Fuente: Elaboración propia.

La laguna de descarga también será impermeabilizada con geomembrana de caucho EPDM. Las dimensiones de la geomembrana a utilizar, se detalla en la tabla 29.

Tabla 29. Dimensiones de la geomembrana para impermeabilizar la laguna de descarga.

Dimensiones de la geomembrana para laguna de descarga		
	Largo (m)	Ancho (m)
Piso de la laguna de descarga	24	8
Desarrollo de talud	8	8
Distancia de la laguna hacia la zanja	1	1
Profundidad de la zanja	0,9	0,9
Ancho de la zanja	0,5	0,5
Dimensiones de la geomembrana para laguna de descarga	34,4	18,4
Desperdicio de geomembrana (13% más)	4	2
Dimensión total de geomembrana para laguna de descarga	39	21
Área total de geomembrana para laguna de descarga (m²)		808

Fuente: Elaboración propia

3.3.2.4. ESTRUCTURAS AUXILIARES

3.3.2.4.1. Tuberías de alimentación y descarga

Los biodigestores, deben de tener un sistema de alimentación y uno de descarga. Dependiendo del tipo de sustrato y del grado de seguridad que se desea obtener se deben instalar solamente una tubería de captación y una de descarga. Pero para este proyecto debido al volumen del biodigestor y de la laguna se descarga se utilizarán 2 tuberías de alimentación y dos tuberías de descarga.

Se utilizarán tuberías que se utilizan para agua potable. A pesar de las bajas presiones con las que trabajan las tuberías de alimentación, es recomendable, utilizar este tipo de tuberías debido al espesor de la pared del tubo y su alta resistencia y durabilidad.

A. Tuberías de alimentación.

Las tuberías de alimentación conducen la biomasa desde el tanque de alimentación de control hacia el fondo del biodigestor. Estas tuberías descargan a 1 metro del fondo del biodigestor. Por lo menos deben de descargar más abajo del 50% de la profundidad del biodigestor. Son rectas y no se añadieron codos para facilitar la limpieza en caso de taponamientos.

El diámetro de la tubería será de 200 mm (el más recomendable). Se utilizaran dos tuberías de alimentación.

Primero, se realiza la excavación, se fijan las tuberías de tal forma que no se muevan durante la colocación del enlucido con cemento y, después se cubre el talud con la membrana.

B. Tuberías de descarga.

Las tuberías de descarga extraerán el biol (componente líquido) o digestato degradado del biodigestor. Se instalarán la misma cantidad de tuberías (PVC) que en el tanque de alimentación (2 tuberías) con un diámetro de 200mm.

Pozo de Control del efluente del biodigestor

Las tuberías de descarga, siempre deben de descargar en un pozo de control del biol, que sirve para acceder a la tubería en caso de obstrucciones (ver figura 24).

Figura 25. Pozo de control para la descarga del efluente del biodigestor.



Fuente: Moncayo (2014). Biodigestores tropicalizados

Es por ello que se dimensionaron dos pozos de control (una para cada tubería). Los pozos de control, debe de tener dimensiones adecuadas para que una persona entre al pozo y pueda introducir una varilla o manguera para la limpieza de las tuberías.

Según el “Manual de Dimensionamiento y diseño de Biodigestores industriales para clima tropical”, nos da las siguientes medidas para los pozos de control.

Tabla 30. Dimensionamiento de los pozos de control de biol

Dimensiones

Altura	1 metro
Ancho	1 metros
Largo	1 metros
Espesor	0,15 metros

Fuente: Moncayo, Gabriel. 2014.

La captación de las tuberías de descarga, se les colocara a la mitad de la profundidad del biodigestor. Es decir a 2 metros del piso del biodigestor.

3.3.2.4.2. Tuberías de captación de biogás

La captación del biogás que se produce en el biodigestor se la realiza por medio de tuberías. El material seleccionado para las tuberías es de PVC, para evitar corrosiones y reemplazos constantes en las tuberías, dando así paras en el proceso, ya que el inconveniente que adicional del biogás es que está saturado por un 100% de vapor de agua y contiene ácido sulfhídrico.

Se ha previsto de al menos dos puntos de captación de biogás ubicados en lados opuestos. Para biodigestores con un volumen mayor a 1000 m³, se deben instalar tuberías con un diámetro de 100 mm.

Se ubicarán las tuberías de captación de biogás en el tramo del muro perimetral que sella la membrana.

Se usará la siguiente alternativa (ver figura 25) para la captación de biogás, a través del muro perimetral. Se pondrá mucha atención para que la tubería quede bien sellada y no haya fugas de biogás. La distancia mínima de la captación de biogás debe de ser de 0,3 metros sobre el nivel máximo de llenado del biodigestor.

Figura 26. Diagrama esquemático de captación de biogás



Fuente: Biodigestores Tropicalizados, Aqualimpia (2014)

3.3.2.4.3. Válvula de seguridad

Todos los biodigestores, sean grandes ($>100 \text{ m}^3$) o pequeños ($<100\text{m}^3$), deben tener una válvula de seguridad para el control de las presiones máximas y de vacío. Si es que no se instala una válvula de seguridad, se corre el grave peligro que el biodigestor se llene demasiado de biogás y, la membrana se reviente o se suelte de los amarres.

A continuación se muestra una válvula de seguridad usada en biodigestores tropicalizados.

Figura 27. Válvula de seguridad en biodigestores tropicalizados.



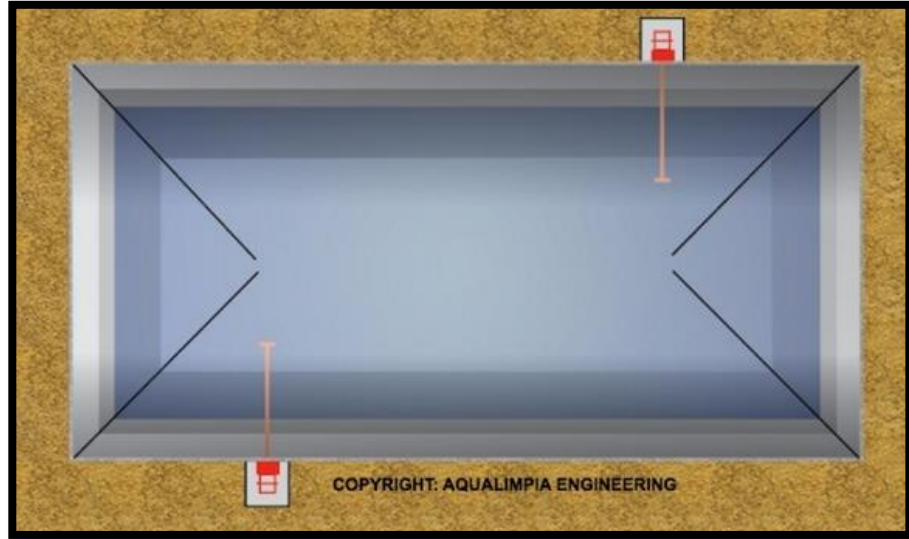
Fuente: Moncayo. 2014. Biodigestores tropicalizados.

3.3.2.4.4. Sistema de agitación.

Se seleccionaron agitadores de acero inoxidable, diseñados expresamente para biodigestores.

El pozo de los motores del agitador, deben de ubicarse a los costados del biodigestor. Debido al ancho del biodigestor, se deberá instalar un agitador a cada lado, tal como se ve en la siguiente figura 27.

Figura 28. Ubicación de los agitadores en el biodigestor



Fuente: Moncayo.2014. Biodigestores Tropicalizados.

Por razones mecánicas y estructurales, se debe limitar la longitud del eje del agitador a un máximo de 6 m. Longitudes mayores, requieren de una mayor fuerza de torsión para el giro del agitador.

Generalmente, se calcula de 1 a 3 kW de potencia por cada 100 m³ de biodigestor (Moncayo. 2014). Se usó para este caso una potencia media de 2kW por cada 100 m³ de biodigestor.

Mediante una regla de tres simple, se calculó la potencia del motor de los agitadores para poder remover todo el agua residual o purín de cerdo en el biodigestor propuesto (1864 m³)

Por lo tanto si:

$$\begin{aligned}
 2kW &\rightarrow 100 m^3 \\
 x &\rightarrow 1864 m^3 \\
 x &= \frac{1864 m^3 * 2kW}{100 m^3} = 37,28 kW
 \end{aligned}$$

Entonces necesitamos 37,28 kW para poder remover los 1864 m³ de agua residual en el biodigestor, pero sabiendo que se deben instalar por lo menos 2 agitadores en biodigestores mayores o iguales a 1000 m³ (Moncayo. 2014). Por lo que cada agitador tendrá una potencia de 18,5 Kw.

La ficha técnica del agitador que se ajusta a este biodigestor, se refleja en la tabla 31.

Tabla 31. Ficha técnica del agitador AG-1, a usarse en el biodigestor.

Ficha técnica del agitador AG-1	
Modelo de agitador gigante	Modelo AG-1
Potencia nominal	18,5 kW
Frecuencia (Hz)	60 Hz
RPM	480
Longitud de eje	4 metros
Ajuste horizontal y vertical	+/- 25°
Material	acero inoxidable

Fuente: Suma. 2015.

Figura 29. Agitador AG-1 para usarse en el biodigestor.



Fuente: Suma. 2015.

En la siguiente figura, se presenta un ejemplo de cómo se debe instalar un agitador, en el muro perimétrico del biodigestor.

Figura 30. Ubicación conceptual de agitador en el muro perimetral.



Fuente: Moncayo. 2014. Biodigestores Tropicalizados.

3.3.2.4.5. MEDIDOR DE CAUDAL DE BIOGÁS

Es importante, conocer la producción de biogás del biodigestor. La producción de biogás, debe ser estable y constante una vez que el biodigestor se ha puesto en marcha y ha entrado en su etapa normal de operación. Si la alimentación del biodigestor se mantiene en el mismo régimen de cantidad y calidad y, las condiciones climáticas se mantienen en forma regular con pequeñas variaciones de temperatura, la producción de biogás no debe de variar. Cualquier disminución drástica de la producción de biogás en porcentajes mayores al 10%, son una señal que el proceso de biodigestión esta alterado. La ubicación conceptual del medidor del caudal se refleja en la figura 30.

Figura 31. Ubicación conceptual del medidor de caudal



Fuente: Aqualimpia Engineering

El medidor de caudal (ver figura 31) que usaremos será el siguiente, con las siguientes especificaciones técnicas (ver tabla 32)

Tabla 32. Ficha técnica del medidor de biogás

Ficha técnica del medidor de biogás	
Modelo	Modelo Esters
Caudal máximo	2000 m ³ /h
Vida útil	Alta
Sistema de medición	Por oscilación
Afecta a la humedad	NO
Temperatura	Altas
Zona regional	Tropical
Material	acero inoxidable

Fuente: Aqualimpia Engineering

Figura 32. Medidor de biogás



Fuente: Aqualimpia Engineering

3.3.2.4.6. ANTORCHA O QUEMADOR DE BIOGÁS.

Es necesario, que siempre se instale una antorcha para quemar el biogás en exceso o cuando se están manteniendo y/o reparando los equipos que aprovechen el biogás.

La antorcha se dimensionó para abarcar el caudal máximo diario de biogás en m³/h, sabiendo que se genera 299,15 m³ biogás al día. Entonces el volumen de la antorcha sería de:

$$\text{Caudal entrante. antorcha} = 299,15 \frac{\text{m}^3 \text{ biogás}}{\text{día}} * \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ horas}}$$

$$\text{Caudal entrante. antorcha} = 12,46 \frac{\text{m}^3 \text{ biogás}}{\text{hora}}$$

La antorcha (ver figura 30) solo debe estar encendida cuando el biodigestor alcance su máxima presión de operación y se apagará cuando el biodigestor este vacío o la presión este al mínimo.

Figura 33. Antorcha o quemador de biogás



Fuente: Moncayo. 2014. Biodigestores tropicalizados

Debe ubicarse a 30 metros de distancia del biodigestor, por razones de seguridad.

Se fabricará de acero inoxidable, con un diámetro mínimo de 18 pulgadas y una altura de 3,5 metros: conteniendo un elemento aislante en el interior de la cámara de combustión que resista temperaturas superiores, a las que se puede alcanzar durante la combustión del gas (SAGARPA. 2013).

3.3.2.4.7. FILTRO DE RETENCIÓN DE ÁCIDO SULFHIDRICO (H_2S).

Para este proyecto se deberá instalar un filtro para la retención de ácido sulfhídrico, ya que el aprovechamiento del biogás es para energía térmica. Este ácido es precursor del ácido sulfúrico, el mismo que corroe las partes metálicas y acorta el tiempo de vida útil de los equipos.

El tamaño del filtro y su capacidad estará en función del volumen de biogás producido y de la concentración del ácido sulfhídrico que piensa ser retenido (SAGARPA. 2013).

El volumen de biogás producido es de 299,15 m^3 /día y el 3,8% es ácido sulfhídrico lo que equivale a 11,37 m^3 /día. La densidad del H_2S es de 1,52 kg/m^3 : por lo tanto se necesitara retener 17,3 kg de H_2S /día.

La empresa Emison de España, fabrica de forma estándar, los siguientes modelos de filtros para la retención de ácido sulfhídrico. Como se verá en la tabla 32.

Tabla 33. Modelos de filtros de retención de ácido sulfhídrico.

Dimensiones (Diámetro*Longitud) en cm.	Caudal máximo (m³/h)	Retención (kg H₂S)
75*100	450	130
75*150	650	200
75*200	900	270
100*150	1 200	360
100*200	1 900	475
100*250	2 000	600
100*300	2 400	700
150*200	3 500	1 000
150*300	4 700	1 600
150*400	7 000	2 100
200*300	9 500	2 900
200*400	12 400	3 800

Fuente: Emilson. 2014.

Al ver el cuadro y teniendo los datos del caudal máximo (12,46 m³/h) y la cantidad de ácido sulfhídrico que se necesitará remover al día. Se seleccionó el filtro de retención de H₂S (ver figura 33), de 75 cm. Por un largo de 100 cm. El filtro se debe cambiar cada 2 a 4 semanas (Emilson, 2014).

Figura 34. Filtro de retención de ácido sulfhídrico



Fuente: Emilson. España.

3.3.2.5. BALANCE DE MATERIA

Se realizó un balance de materia del proceso de biodigestión.

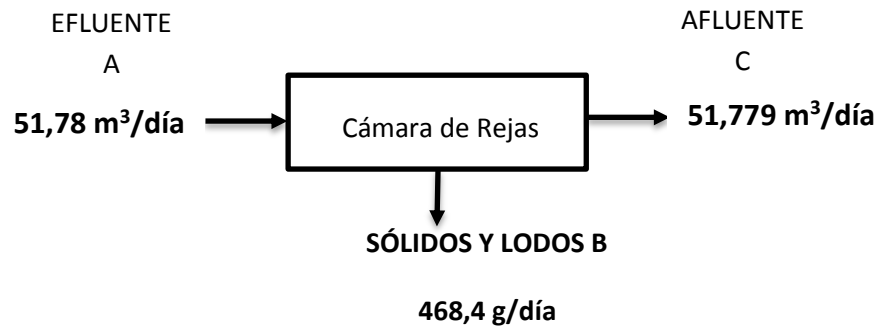
A. BALANCE EN REJILLAS EN EL TANQUE DE ALIMENTACIÓN.

Para realizar el balance en este proceso se tomara los datos de la tabla N° 24. La cantidad del material que se queda en las rejillas es influenciada por las consideraciones locales y depende del espacio entre barras.

Tabla 34. Información usual sobre las características y cantidad de residuos del desbaste.

DESBASTE	ESPACIO (mm)	VALORES DE RESIDUOS (L/m ³)
Grueso	50	0,009
Fino	15	0,0035

Fuente: Hernández, Ramírez.



$$B = 0,009 \frac{L}{m^3} * \frac{51,78 m^3}{d} = 0,467 \frac{L}{día} * \frac{1m^3}{1000L}$$

$$B = 4,67 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \text{ de residuos} \frac{\text{solidos}}{\text{día}}$$

$$\text{Densidad del lodo en el pretatamiento} = \frac{1003 \text{ kg}}{\text{m}^3} \text{ (Según Ferrer. 2008)}$$

$$B = 4,67 \times 10^{-4} \text{ m}^3 * \frac{1003 \text{ kg}}{\text{m}^3} = 0,4684 \frac{\text{kg}}{\text{día}} = 468,4 \text{ g/día}$$

Calculando el efluente C:

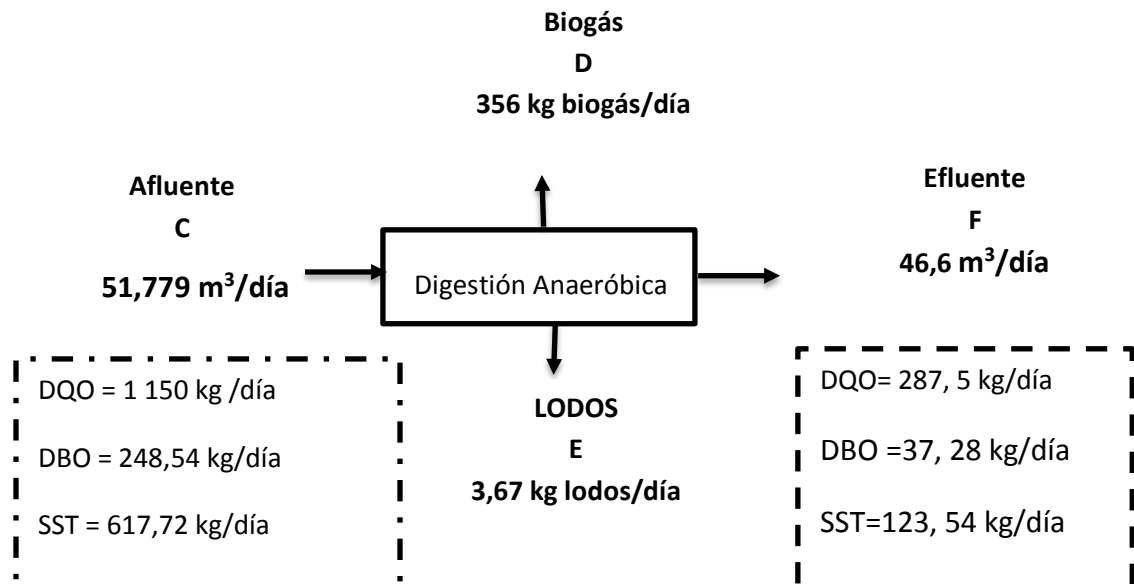
$$C = (A - B)$$

$$C = \frac{(51,78 - 4,684 * 10^{-4}) \text{ m}^3}{\text{día}}$$

$$C = 51,779 \text{ m}^3/\text{día}$$

B. BALANCE EN EL PROCESO DE BIODIGESTIÓN EN EL BIODIGESTOR.

Se conoce que el porcentaje de remoción de la DQO, en este biodigestor (digestión anaeróbica) es de 75%



- **LODOS:** Según SAGARPA (2013), señala que el 10% de la carga que entra diariamente al biodigestor, se convierte en lodo.

$$E = 51,779 \text{ m}^3/\text{día} * 0,10 = 5,178 \text{ m}^3/\text{día} \text{ de lodos.}$$

Según Orozco (2005) la densidad del lodo = 710 kg/m^3

$$E = 5,178 \text{ m}^3 \text{ lodos/día} * 710 \text{ kg/m}^3$$

$$E = 3,67 \text{ kg lodos/día}$$

- BIOGÁS

$$D = 299,15 \text{ m}^3 \text{ biogás/día}$$

Según Orozco (2005) la densidad del biogás = $1,19 \text{ kg/m}^3$

$$D = 299,15 \text{ m}^3 \text{ biogás/día} * 1,19 \text{ kg/m}^3 = 356 \text{ kg biogás/día}$$

***Porcentaje de Remoción en la digestión anaeróbica**

Según Romero (2008), los porcentajes de remoción son los siguientes.

$$DQO = 75\%$$

$$DBO = 85\%$$

$$SST = 80\%$$

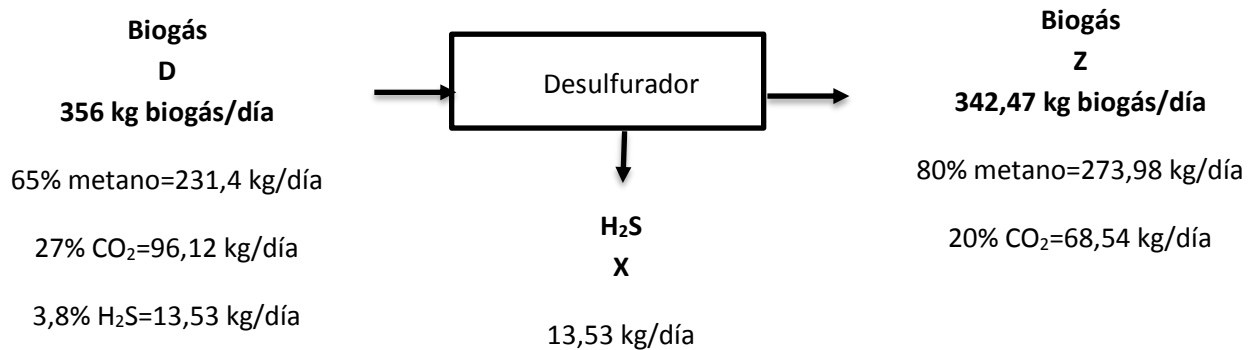
$$DQO = 1150 \frac{\text{kg}}{\text{día}} * 0,25 = 287,5 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

$$DBO = \frac{248,54 \text{ kg}}{\text{día}} * 0,15 = 37,28 \text{ kg/día}$$

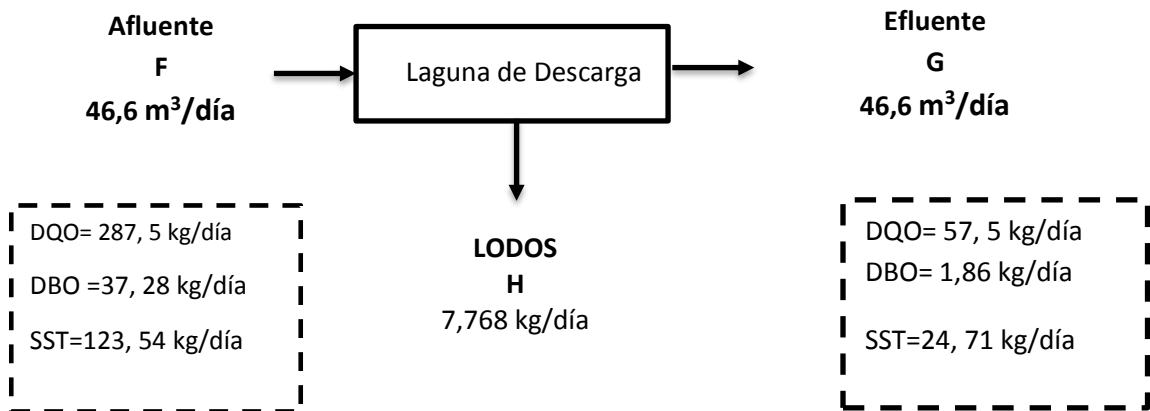
$$DBO = 480 * 0,15 = \frac{1200 \text{ mg}}{\text{l}}$$

$$SST = 617,72 \frac{\text{kg}}{\text{día}} * 0,2 = 123,54 \text{ kg/día}$$

C. DESULFURADOR



D. LAGUNA DE DESCARGA.



- **LODOS:** Según Romero (2008), señala que el 15% de la carga que entra diariamente al biodigestor, se convierte en lodo.

$$E = 46,6 \text{ m}^3/\text{día} * 0,15 = 6,99 \text{ m}^3/\text{día} \text{ de lodos.}$$

Según Orozco (2005) la densidad del lodo = 110 kg/m^3

$$E = 6,99 \text{ m}^3 \text{ lodos/día} * 110 \text{ kg/m}^3$$

$$E = 7,768 \text{ kg lodos/día}$$

*Porcentaje de Remoción en una laguna aerobia

Según Romero (2008), los porcentajes de remoción son los siguientes.

DBO=95%

DQO=80%

SST=80%

$$DQO = 287,5 \frac{\text{kg}}{\text{día}} * 0,2 = \frac{57,5 \text{kg}}{\text{día}}$$

$$DBO = 37,28 \frac{\text{kg}}{\text{día}} * 0,05 = 1,86 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

$$SST = 123,54 \frac{\text{kg}}{\text{día}} * 0,2 = 24,71 \text{ kg/día}$$

3.3.2.6. CÁLCULO DE ÁREAS SUPERFICIALES MEDIANTE EL MÉTODO DE GUERCHET

Con la aplicación del método de Guerchet, se podrá conocer la superficie requerida para poder implementar el Sistema de Biodigestión para obtener biogás en la Granja Rico Cerdo F&G, con respecto al área disponible de 5 186,4 m². Por lo tanto a continuación se presenta el desarrollo de las áreas requeridas para el tratamiento de biodigestión y las ubicaciones de sus áreas en la planta.

Tabla 35. Método de Guerchet para el cálculo del área total a necesitar

Componentes	Unidad	Dimensiones				Áreas				TOTAL (m ²)
		Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)	N	S _s	S _g	K	Se	
Tanque de alimentación	1	8,7	4,5	0,3	2	39,15	78,3	0,05	5,8725	123,3225
Biodigestor	1	40,4	20,8	1	2	840,32	1680,64	0,05	126,048	2647,008
Pozo de recolección de lodos	1	1,3	1,3	0,3	2	1,69	3,38	0,05	0,2535	5,3235
Laguna de descarga	1	35	17		2	595	1190	0,05	89,25	1874,25
Pozos de control de tuberías de descarga	2	1,3	1,3	0,3	2	1,69	3,38	0,05	0,2535	5,3235
Operarios	3					0,5				1,5
										4656,73

Fuente: Elaboración propia.

Por lo tanto se obtiene un total de 4656,73 m² para el sistema de biodigestión para la obtención de biogás. Con respecto al área disponible que tiene la granja de 5 186,4 m², se cuenta con el área necesaria para implementar este sistema de biodigestión.

3.3.2.7. INDICADORES DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS DEL SISTEMA DE BIODIGESTIÓN.

➤ **CANTIDAD DE BIOGÁS OBTENIDO.**

Para calcular la producción estimada de biogás, el parámetro indicado para poder calcularlo es en base a la Demanda Química de Oxígeno (DQO). Ya que es el que más se asemeja a la realidad.

Entonces para hacer el cálculo contamos con los siguientes datos:

$$\text{Efluente de carga al biodigestor} = 51,31 \frac{m^3}{\text{día}}$$

$$\text{Concentración de DQO} = 22210,17 \frac{mg}{l}$$

$$\begin{aligned} \text{Concentración total de DQO} &= 51,31 \frac{m^3}{\text{día}} * 22210,17 \frac{mg}{l} \\ &= 1139,60 \frac{kg \text{ DQO}}{\text{día}} \end{aligned}$$

Según Moncayo (2014) asume una producción de biogás es de 0,35 m³ biogás/kg de DQO degradado. Entonces:

$$= 1136,60 \frac{kg \text{ DQO}}{\text{día}} * 0,35 \text{ m}^3 / \text{kg de DQO} = 398,86 \text{ m}^3 \text{ biogás/ día}$$

Pero se asume que solo se degrada el 75% (Moncayo.2014)

$$= 398,86 \frac{m^3 \text{ biogás}}{\text{día}} * 0,75 = 299,15 \text{ m}^3 \text{ biogás al día}$$

El biogás contiene la siguiente composición (Nodar. 2012): 65% es metano, 27% es CO₂ y 3,8% es H₂S. Obteniendo lo siguiente:

$$\text{Biogás} = 299,15 \frac{m^3}{\text{día}}$$

$$65\% \text{ metano} = 194,44 \frac{m^3}{\text{día}}$$

$$27\% \text{ CO}_2 = 80,75 \frac{m^3}{\text{día}}$$

$$3,8\% \text{ H}_2\text{S} = 11,37 \frac{m^3}{\text{día}}$$

Este biogás pasará por un filtro de retención de H₂S, el cual va a retener todo el sulfuro de hidrógeno, para tener un gas limpio.

Según el modelo de filtro de retención seleccionado en el punto 3.3.2.4.7. La cantidad entrante de biogás al filtro de retención de H₂S es de 299,15 m³/día,

menos la cantidad de ácido 11,37 m³/día, entonces la cantidad de biogás limpio es de 287,78 m³/día.

Por lo tanto el gas de salida contiene: 80% de metano y 20% de CO₂. Obteniendo como biogás final lo siguiente:

$$\begin{aligned} \text{Biogás} &= 287,78 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \\ 80\% \text{ metano} &= 230 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \\ 20\% \text{ CO}_2 &= 57,56 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \end{aligned}$$

3.3.2.8. DEMANDA ENERGÉTICA A CUBRIR.

Según la Fundación Ecológica Nacional (FEN, Brasil), indica que 1 m³ de biogás con 80% de metano, equivale energéticamente a 0,40 kg de GLP, medido a condiciones de 25°C y 1 atmósfera. Entonces:

$$\begin{aligned} 1 \text{ m}^3 &\rightarrow 0,40 \text{ kg GLP} \\ 230 \text{ m}^3 &\rightarrow x \\ x &= 92 \text{ kg GLP/día} \end{aligned}$$

Por lo tanto los 230 m³/ día de metano, equivale energéticamente a 92 kg GLP/día. Al mes se genera 2760 kg GLP.

En la siguiente tabla (N° 36), indica que se cubrirá al 100% la demanda energética de GLP de las áreas de maternidad; obteniendo además un biogás sobrante en promedio 6 409,72 m³/mes. Con una concentración de 5 719 m³/mes de metano y 690,72 m³/mes de CO₂, que puede ser vendido para obtener ganancias.

Tabla 36. Biogás sobrante

MES	Metano equivalente en GLP (kg/mes)	Consumo de GLP en maternidad (kg/mes)	Metano equivalente en GLP sobrante (kg/mes)	Metano sobrante (m ³ /mes)
Enero	2 760	436,59	2 323,41	5 808,53
Febrero	2 760	554,4	2 205,60	5 514
Marzo	2 760	519,75	2 240,25	5 600,6
Abril	2 760	533,61	2 226,39	5 565,98
Mayo	2 760	374,22	2 385,78	5 964,45
Junio	2 760	415,8	2 344,20	5 860,5

Fuente: Elaboración propia.

3.4. ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO

3.4.1. COSTOS DE INVERSIÓN DE MEJORA

Este biodigestor se construyó para la producción de biogás. El biogás se utilizará como combustible para los sistemas de calefacción de las áreas de maternidad de la Granja Rico Cerdo F&G, en reemplazo del GLP que se usa actualmente como combustible para estos sistemas.

Los egresos de un biodigestor, comprenden los costos de inversión: ingeniería, obra civil, equipos que ayudan al proceso de biodigestión y al personal encargado de la planta (en este caso será subcontratado)

Los ingresos vienen dados por la venta del biogás a terceros. Ya que existe un sobrante mensualmente, que no se utiliza en el sistema de calefacción de las áreas de maternidad. La propuesta se da en base a los metros calculados 4656,73 m² y un terreno disponible de 5 186,4 m².

Las principales obras de ingeniería civil necesarias son las siguientes:

- Trabajo preliminar:
 - Limpieza y nivelación de terreno.
 - Trazo y replanteo de obra.
 - Movimiento de tierra
- Obras de civil: (tanque de alimentación, biodigestor, laguna de descarga)
 - Compactación de terreno
 - Relleno de material arena y grava
 - Concreto simple F'c=210 kg/cm²
 - Muro perimetral
- Obras de civil
 - Excavación y compactación de terreno
 - Anclaje de geomembrana
 - Relleno de material arena y grava
- Estructura metálica y otros:
 - Rejillas metálicas

Tabla 37. Inversión en obras para el sistema de biodigestión

DESCRIPCION	UNIDAD	METRADO	COSTO UNITARIO (USD)	TOTAL (USD)
TRABAJOS PRELIMINARES				
LIMPIEZA Y NIVELACION DE TERRENO	m ²	4656,73	1,78	8288,97
TRAZO Y REPLANETO DE OBRA	m ²	4656,73	0,5	2328,365
MOVIMIENTOS DE TIERRAS				
EXCAVACION MANUAL DE TERRENO DE CULTIVO	m ²	4656,73	1,2	5588,076
RELLENO Y COMPACTACION DE MATERIAL PRESTADO	m ²	4656,73	1,2	5588,076
OBRAS CIVILES				
Compactación de terreno (LAGUNAS)	m ²	1177,75	0,25	294,4375
Relleno de material arena y grava (LAGUNAS)	m ²	1177,75	25,16	29632,19
ENCOFRADO Y DESENCOFRADO (MURO PERIMETRAL)	m ²	115,2	83	9561,6
ESTRUCTURA METALICA Y OTROS				
REJILLAS METALICAS	unidad	95	50	4750
TOTAL				66 032

Fuente: Elaboración propia

3.4.2. ACCESORIOS Y EQUIPOS NECESARIOS PARA EL FUNCIONAMIENTO DEL TRATAMIENTO DE BIODIGESTIÓN PARA OBTENCIÓN DE BIOGÁS.

Los accesorios de la tabla 27, se encuentran especificaciones en el capítulo de equipos auxiliares detallados en la elaboración del proyecto.

Tabla 38. Especificaciones de accesorios y equipos.

ACCESORIOS	UNIDADES	CANTIDAD	ESPECIFICACIONES	COSTO (USD)	TOTAL (USD)
Tuberías	und	7	$\phi=200$ mm	11,2	78.4
Tuberías	und	2	$\phi=100$ mm	5,33	10.66
Codos	und	10	$\phi=4''$	2,15	21,5
Medidor de gas	und	1	$\Theta =1''$	50	50
Rejillas de Limpieza	und	1		300	300
válvula de seguridad	und	1		1200	1200
Filtro de retención de H ₂ S	und	1	$\phi=75$ cm y L=100cm	2500	2500
Bomba de lodos	und	2	5,5 HP	1580	3160
Antorcha o quemadora de biogás	und	1	$\phi=18''$ y Altura=3,5m	1800	1800
Medidor de caudal de biogás	und	1	Caudal máximo= 2000 m ³ /h	1500	1500
Agitadores	und	2	18,5kw	2000	4000
Geomembrana EPDM	m ²	2763	flexible	8	22 104
					36 724,56

Fuente: Elaboración propia

3.4.3. INVERSIONES

3.4.3.1. Inversión intangible

Se entiende por inversión diferida al conjunto de bienes necesarios para el funcionamiento de la planta de biogás propuesto, a continuación en la Tabla 39. Se detalla la inversión intangible.

Tabla 39. Inversión intangible

DESCRIPCIÓN	MONTO MENSUAL (USD)
Gastos de entrenamiento de personal	400
Asistencia técnica	1000
Gastos de preparación o puesta en marcha	1 500
TOTAL	2 900

Fuente: Elaboración propia

3.4.3.2. Capital de trabajo

El capital de trabajo es la inversión que circulante que facilitará la operatividad normal de la infraestructura productiva del proyecto. Para el cálculo del monto de capital de trabajo, se considera los costos variables, los costos fijos tal como se muestra en tabla 40.

Tabla 40. Capital de Trabajo

Descripción	Costo (USD)
Mano de obra indirecta	3 500
Comunicaciones	500
Servicio de energía	600
Gastos de materiales	120
Gastos de capacitaciones	500
TOTAL	5 220

Fuente: Elaboración propia.

3.4.3.3. Inversión total

Las inversiones total requerido para llevar a cabo el proyecto de investigación asciende a la suma de \$106 796,56.

Tabla 41. Inversión total

Descripción	COSTO (USD)
Inversión tangible	
Construcción y mano de obra	66 032
Accesorios y equipos	36 724,56
Inversión intangible	2 900
Capital de trabajo	5 220
TOTAL	110 876, 56

Fuente: Elaboración propia

3.4.3.4. Gastos administrativos para implantar los cambios.

Se basa en los costos para mantener el ritmo operativo y administrativo de la planta de biogás.

♣ Sueldos y salarios.

El personal que labora en una planta de tratamiento de aguas residuales tiene distintas profesiones, todas ellas de vital importancia en su correcto funcionamiento. En esta planta de biogás contaremos con los siguientes puestos.

Tabla 42: Áreas y puestos

ÁREA	PUESTOS
Tratamiento	Jefe de planta
Control de calidad	Analista de laboratorio
Tratamiento	Operario

Fuente: Elaboración propia.

Se resalta que para la contratación del Jefe de planta altamente calificado y para el operario calificación media. En la tabla 43 se muestra el sueldo en dólares americanos que se le asigna a cada trabajador al año, considerando el 51% de beneficios, los cuales incluyen lo siguiente: vacaciones de 30 días, gratificaciones, CTS, utilidades del 5%. En el caso de los operarios se consideró el sueldo mínimo y para el de jefe de planta y analista de laboratorio se estableció el sueldo en base al mercado laboral.

Tabla 43: Sueldos anuales

CARGO	CANTIDAD	SUELDO ANUAL (USD)	BENEFICIOS (USD)	SUB TOTAL (USD)	TOTAL (USD)
Jefe de planta	1	6 154	3 138,54	9 292,54	9 292,54
Analista	1	3 330	1 698,3	5 028,3	5 028,3
Operario	3	2 800	1428	4 228	12 684
TOTAL					27 005

Fuente: Elaboración propia.

3.4.3.5. GASTO ANUAL DE LIMPIEZA DE LA LAGUNA DE OXIDACIÓN 01.

Actualmente se realiza la limpieza de la laguna de oxidación 01 (ver anexo 4 y 5). Se contrata una excavadora, para sacar todo el sólido acumulado en esta laguna, ya que es aquí en donde desembocan las aguas residuales de la granja Rico Cerdo F&G. Esta limpieza se hace de manera anual, teniendo los siguientes costos.

Tabla 44. Costos para la contratación de excavadora para limpieza de laguna de oxidación 01.

	Costos (Soles)	Costo (USD)
Contrato excavadora	S/. 27000	USD 8 147,25
Petróleo para el funcionamiento de la excavadora	S/. 6000	USD 1 810,5
TOTAL	S/. 33000	USD 9 957,75

Fuente: Rico Cerdo F&G

Se observa en la tabla anterior, que los costos de limpieza son elevados. La excavadora cobra S/ 180.00 por hora, trabajando 10 horas diarias por 2 semanas que dura la limpieza de la laguna de oxidación 01. El petróleo para la excavadora es de S/. 400.00 diarios por 2 semanas también, trabajando los 7 días de la semana.

3.4.4. COSTO BENEFICIO.

Con el objetivo de evaluar integralmente el impacto económico que genera la implementación de sistema de biodigestión, para la obtención de biogás, se efectuara un flujo de ingresos y egresos del proyecto en un plazo de 05 años (Véase en la Tabla 45). Por lo que se considera lo siguiente:

- ♣ La inversión inicial de implementar el sistema de biodigestión para la obtención y aprovechamiento de biogás, significa cumplir un desembolso de \$ 110 876,56 el cual en el segundo año de puesta en marcha del sistema, se podrá recuperar la inversión.
- ♣ El biodigestor genera un sobrante de biogás de 76 916,64 m³/año. Con un valor de \$ 1,6 por m³ de biogás. Obteniendo un beneficio anual de \$ 123 066,6. Puede ser puesto a la venta a las granjas cercanas a la Empresa Rico Cerdo F&G S.A.C.
- ♣ Se tomará un promedio de \$ 4 000, por cada mantenimiento anual.
- ♣ Desde el primer año se podrá ahorrar en términos monetarios, el dinero para la compra de GLP para el sistema de calefacción de las áreas de maternidad.
- ♣ En el segundo año de puesta en marcha, se podrá ahorrar los \$ 9 957,75 anuales que se usaba para la limpieza de la laguna de oxidación 01.

Tabla 45. Costo beneficio del proyecto.

	\$	1 Año (\$)	2 Año (\$)	3 Año(\$)	4 Año (\$)	5 Año (\$)
Costo de operación		40962.75	31005	31005	31005	31005
Costo por operario		27005	27005	27005	27005	27005
Costo de limpieza de laguna de oxidación 01	9957.75	9957.75	0	0	0	0
Mantenimiento		4000	4000	4000	4000	4000
Ahorro		129044.27	139002.02	139002.02	139002.02	139002.02
Ahorro por limpieza de la laguna de oxidación 01		0	9957.75	9957.75	9957.75	9957.75
Ahorro por GLP		5977.67	5977.67	5977.67	5977.67	5977.67
Venta de biogás		123066.6	123066.6	123066.6	123066.6	123066.6
Beneficio		88081.52	107997.02	107997.02	107997.02	107997.02
Operación inicial	110876.56	22795.04	-85201.98	-193199	-301196.02	-409193.04

Fuente: Elaboración propia

IV. CONCLUSIONES

- Se realizó la caracterización del agua residual de la Empresa Rico Cerdo F&G S.A.C., obteniendo un pH de 6,96; DQO de 22210 mg/l, DBO₅ de 250 mg/l, fósforo total de 149,30 y nitrógeno total de 621,26 mg/l. Concluyendo que el agua residual es un efluente totalmente contaminante y debido a su elevada carga orgánica puede fermentarse para obtener biogás.
- Se estimó un promedio de consumo de gas (GLP) de 227,21 m³/mes. Generando un costo promedio anual de S/ 19 810 ó \$ 5 977,67 anuales.
- Esta investigación analizó las alternativas de sistemas de biodigestión, concluyendo que el biodigestor tipo laguna cubierta, constituye un método eficiente y de bajos costos de operación, su habilidad para generar un biogás con volumen constante, gracias al sistema de agitación con el que cuenta. Está compuesto por un tanque de alimentación con rejillas gruesas, un biodigestor tipo laguna cubierta y una laguna de descarga. Siendo la ubicación de la planta en la misma granja, ocupando un área total de 4656,73 m², teniendo la granja un área disponible de 5186,4 m². Produciendo 287,78 m³/día de biogás, teniendo una concentración de 80% de metano (230 m³/día) y 20% de CO₂ (57,56 m³/día). Concluyendo finalmente que la demanda energética de gas (GLP) que se usa en las áreas de maternidad, se cubrirá al 100% gracias al biogás que se obtendrá con dicha propuesta. Obteniendo además un biogás sobrante en promedio de 6 409,72 m³/mes, que puede ser vendido para obtener ganancias.
- La inversión total para la instalación de la planta de obtención de biogás es de \$110 876,56. Esta inversión será gestionada por la misma empresa, recuperando toda la inversión en el segundo año de su puesta en marcha.

V. RECOMENDACIONES

Las recomendaciones del siguiente trabajo son las siguientes:

- Se recomienda tener un mantenimiento de la cámara de rejillas para que de esta manera se evite la acumulación de sólidos impidiendo el correcto funcionamiento de la planta de obtención de biogás
- Se recomienda que cuando se realice la limpieza de los lodos que se encuentran al fondo del biodigestor, sean vertidos a un lecho de secado de lodos, para que puedan tratar ese lodo y obtener un bioabono excelente para su venta.
- Se recomienda regular el consumo de agua subterránea destinada para la limpieza de los pisos de las diferentes áreas productivas de la granja. Ya que al aumentar esta agua, va a generar en el biodigestor llegue a su capacidad máxima. Se recomienda tener un control sobre estas aguas.
- Se recomienda cubrir al sistema de biodigestión con un invernadero en caso de lluvias y también el tanque de alimentación, ya que si entra agua de lluvia al biodigestor puede inhibir el proceso de producción de biogás.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Almeida, Jorge de Victorica. 2006. *“Tratamiento y aprovechamiento de aguas residuales, primera etapa”*. México.
- Chao Espinosa. Ramón. 2012. *“Gasto de agua de limpieza y tratamiento del agua residual en naves de ceba porcina”*, Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias. Acceso Septiembre 06, 2014.
- Chao, R. 2011. *“Conversor de un calentador para crías porcinas de gas licuado a biogás”*. Revista computarizada de Producción porcina. Acceso Septiembre 07, 2014.
- Department of Chemical Engineering Kongu Engineering College,” *Synthesis of Biogas as a Renewable Energy from Organic Waste Mixture by Anaerobic Fermentation*”, Journal of Chemical, Biological and Physical Sciences N°02 1601-1608. Acceso Septiembre 0, 2014.
- Elias, Xavier.2005. *“Tratamiento y valorización energética de residuos”*. España: Díaz de Santos.
- Fundación Ecológica Nacional. 2012.” Decreto N° 58.659. Brasil.
- Ferrer, I and Seco A. 2008. Tratamiento biológico de aguas residuales. España. Universidad Politécnica de Valencia.
- Garzón, Marco Atonio, *“Caracterización de aguas residuales porcinas y su tratamiento por diferentes en México”*. Revista Internacional del Ambiente (2014), Acceso Septiembre 01 ,2014.
- ICONTEC. 2010. *“COMPENDIO: Guías para la gestión integral de los Residuos”*. Bogotá: Editorial Kimpres.
- Mantilla, Juan. et al. 2009.”*Diseño y estudio económico preliminar de una planta productora de biogás utilizando residuos orgánicos de ganado vacuno”* Revista Ingeniería e Investigación. Acceso Septiembre 08, 2014.
- Moncayo, Gabriel. 2014.”*Manual de dimensionamiento y diseño de biodigestores industriales para clima tropical. Biodigestores tropicalizados”*. Alemania: Aqualimpia Engineering.
- Nodar, Lorena. 2012 *“Planta de Biogás: Finca Mouriscade”*. UPV.
- Orozco, A. 2005. *“Bioingeniería de aguas residuales”*. Colombia. Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental.

- Ronzano, E and Dapena, J. 2002. “*Tratamiento Biológico de las Aguas Residuales*”. España. Pridesa.
- Romero, J. 2008. “Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principio de diseño. Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- SAGARPA. 2013. “*Especificaciones técnicas para biodigestores pequeños tipo laguna*”. México. Firco.
- Seoáñez, Mariano. 2002. “*Manual de tratamiento, reciclado, aprovechamiento y gestión de las aguas residuales de las industrias agroalimentarias*”. Madrid: Mundi-Prensa.
- Sierra, A. 2011. *Calidad del agua evaluación y diagnóstico*. Colombia. Universidad de Medellin.
- Suma. 2015. “*Agitadores para plantas depuradoras de agua residual*”. Brasil.
- Viñaz, Mario. “*Tecnología para el tratamiento y aprovechamiento de residuos porcinos*”. ENPA. Acceso septiembre 01,2014.
- Viquez, Joaquín. 2013.” *Alternativa eficiente para remover nitrógeno de aguas residuales en granjas porcinas*”. La Soya S.A.

VII. ANEXOS

Anexo 01. Salida de tubería para limpieza de las áreas productivas de la granja.



Anexo 02. Precios de los diferentes parámetros según el Laboratorio de la Universidad Agraria La Molina

Presentación

EL LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO del Departamento de Recursos Hídricos - DRH de la Universidad Nacional Agraria La Molina, como unidad académica y de servicios, viene funcionando desde el año 1997.

Los servicios que prestamos son con fines de: fertilización de suelos y fertilización foliar, riegos, obras civiles, saneamiento rural y urbano, tratamiento y reutilización de aguas residuales, tratamiento de relaves mineros, instalación de piedgranjas entre otros.

Contamos para ello con un equipo profesional calificado, equipos e instrumentos de última generación, que nos permite ser competitivos en el mercado.

Nuestros Servicios abarcan hasta la asistencia técnica para la toma de muestras de campo, interpretación de los resultados y la ejecución de estudios relacionados a la ingeniería en recursos hídricos. También realizamos la determinación del pH, CE y temperatura del agua *in situ*.

Próximamente ofreceremos el servicio de elaboración de fertilizantes en solución según cultivo y de acuerdo a los análisis de agua y suelo.

MATERIA ORGÁNICA	COSTO S/.
01 Estiércol, Compost, Humus de Lombriz N, P 2 O 5, K 2 O, CaO, MgO, pH, CE	105.00

ANÁLISIS FOLIAR	COSTO S/.
01 Elementos mayores: NPK, Ca y Mg	105.00
02 Elementos menores: Hierro, Boro, Cobre, Zinc y Manganeso	105.00
03 Elementos pesados: Plomo, Cadmio, Cromo	35.00 (*)

ANÁLISIS DE AGUA	
CON FINES DE AGRICULTURA	COSTO S/.
01 Completo de Rutina: Aniones, Cationes, pH, CE, Boro	52.50
02 Micro elementos: Hierro, Cobre, Zinc, Manganeso	21.00 (*)
03 Elementos pesados: Plomo, Cadmio, Cromo	21.00 (*)
04 Nitratos	35.00
05 Dureza, Alcalinidad, Sólidos en Suspensión, Turbidez	21.00 (*)

CON FINES DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	COSTO S/.
01 FÍSICO-QUÍMICOS	
pH	10.50
Temperatura (In Situ)	3.50
Humedad (In Situ)	21.00
Turbidez, acidez, cloruros, sulfatos, carbonatos, bicarbonatos	21.00 (*)
Alcalinidad total, CE, Dureza: total, cálcica, no carbonatada;	21.00 (*)
Sólidos: totales, fijos, volátiles, suspendidos, disueltos, sedimentables	
02 NUTRIENTES	
Nitrógeno total	138.00 (*)
Fósforo total y Fósforo soluble	34.50
Nitrógeno amoniacal (N-NH4)	34.50
Nitrógeno en forma de Nitrato (NO3)	34.50
Nitrógeno Orgánico (N_Org)	34.50
03 INDICADORES BIQUÍMICOS	
Oxígeno disuelto (In Situ)	14.00
Demanda bioquímica del oxígeno	42.00
Demanda química del oxígeno	49.00
04 METALES	
Cd, Ca, Zn, Cu, Cr, Fe, Mg, Mn, Pb, K, Na	35.00
05 ACEITES Y GRASAS	35.00 (*)

ANÁLISIS DE SUELO Y AGUA	
CON FINES DE CONSTRUCCIÓN	COSTO S/.
01 Sales solubles totales, cloruros, sulfatos, CE, Carbonatos	21.00 (*)
02 pH	10.50
03 Materia orgánica (suelo)	21.00
04 Materia orgánica (agua)	49.00

ANÁLISIS DE SUELO	
CON FINES DE AGRICULTURA	COSTO S/.
01 Completo de Rutina: pH, CE, MO, P, K, Carbonatos	35.00
02 Caracterización completa: Rutina, Textura y CIC	70.00
03 Salinidad y Sodicidad: Caracterización, Aniones, Cationes solubles, yeso soluble y Boro	122.50
04 Parámetros Hídricos: CC, PM, Densidad aparente, Textura	21.00 (*)
05 Micro elementos: Hierro, Cobre, Zinc, Manganeso	21.00 (*)
06 Elementos pesados: Plomo, Cadmio, Cromo	35.00 (*)

(*) Costos unitarios para cada elemento por separado, incluye IGV.

Anexo 03. Relación sólidos-agua de limpieza que se usa en la granja Rico Cerdo F&G

Mes	Estiércol (kg/mes)	Consumo de agua subterránea para limpieza (l/mes)	Relación estiércol/agua de limpieza
Enero	184126.275	779994.00	1/4
Febrero	196083	784332.00	1/4
Marzo	201181.5	804726.00	1/4
Abril	206353.5	825414.00	1/4
Mayo	198913.5	795654.00	1/4
Junio	185532	742128.00	1/4
Julio	181534.5	726138.00	1/4
Agosto	185601	742404.00	1/4
Septiembre	194094	776376.00	1/4
Octubre	201535.5	806142.00	1/4
Noviembre	192184.5	768738.00	1/4
Diciembre	201010.5	804042.00	1/4

Anexo 04. Limpieza de la laguna de oxidación 01



Anexo 05: Finalización de Limpieza de la laguna de oxidación 01



Anexo 06. Resultados del Análisis de Agua residual por la UNALM

	UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO Av. La Molina s/n. Teléfono: 6147800 Anexo 228 Lima. E-mail: la-mo@lamolina.edu.pe	 Nº 002565
---	--	---

**ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO
DE AGUA**

SOLICITANTE : PERCY PAVIA PERICHE
PROCEDENCIA : Chiclayo
RESPONSABLE ANÁLISIS : Ing. Nelson Guerrero Pardo
FECHA DE ANÁLISIS : La Molina, 09 de Setiembre del 2015

Nº LABORATORIO	2565
Nº DE CAMPO	Agua
PH	6.98
Sólidos Totales mg/L	18355.56
Sólidos Suspendidos mg/L	11.930.00
Sólidos Volátiles mg/L	5766.67
mgP tot/L	149.30
DBO mg O ₂ /L	4800.00
DQO mg O ₂ /L	22210.17
mgN total/L	621.28

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUA Y SUELO

ING. ANTONIO ENCISO GUTIERREZ
-JEFE DE LABORATORIO-


Facultad de Ing. Agrícola
UNALM