

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LOS RESIDUOS
PROVENIENTES DE LA EXPLOTACIÓN PORCÍCOLA, LOS CANAGUARIOS
VEREDA LOS MEDIOS, RIVERA – HUILA”**

**WILLIAM ARTUNDUAGA MORENO
LUZ ADRIANA GORDILLO PERDOMO**

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA INGENIERIA AGRICOLA
NEIVA
2009**

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LOS RESIDUOS
PROVENIENTES DE LA EXPLOTACIÓN PORCÍCOLA, LOS CANAGUARIOS
VEREDA LOS MEDIOS, RIVERA – HUILA”**

**WILLIAM ARTUNDUAGA MORENO
LUZ ADRIANA GORDILLO PERDOMO**

**Trabajo de grado presentado como requisito
para optar el título de Ingeniero Agrícola**

Director:

**ING. EDUARDO VALENCIA GRANADA
Máster Ingeniería sanitaria y ambiental.**

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA INGENIERIA AGRICOLA
NEIVA
2009**

Nota de aceptación

Presidente del jurado

Jurado

Jurado

Neiva, Agosto de 2009

DEDICATORIA

A **Dios y la Virgen**, por ser los guías y directores de mi vida, por darme la fortaleza para ascender este peldaño tan anhelado en la existencia de cualquier ser humano. A mis padres, **Urbano y Edith**, principales moldeadores de mi formación como persona, por su lucha incansable en el deseo de que alcance grandes logros, porque creyeron en mi y brindaron su esfuerzo y colaboración para hacer esto posible. A mis hermanos **Bianey y Faiver**, por el apoyo y comprensión que de ellos obtuve, desde el inicio de mi carrera hasta su culminación. A mis **familiares y amigos** por estar siempre ahí, creyendo que yo lo podía hacer, por el entusiasmo que me transmitieron a cada momento y por toda la fé que en mí depositaron.

William Artunduaga Moreno

Dedico este proyecto y toda mi carrera universitaria a Dios por ser quien ha estado a mi lado en todo momento dándome las fuerzas necesarias para continuar luchando día tras día y seguir adelante rompiendo todas las barreras que se me presentaron. Le agradezco a mi madre Anais Perdomo ya que gracias a ella soy quien soy hoy en día, fue la que me dio ese cariño y calor humano necesario, y es quien ha velado. y ha hecho que todas las horas de consejos , de regaños, de reprimendas de tristezas y de alegrías de las cuales estoy muy seguro que las ha hecho con todo el amor del mundo para formarme como un ser integral y de las cuales me siento muy orgullosa. Y A mis hermanas Fernanda Córdoba y Elizabeth Martínez y amigos por su apoyo.

Luz Adriana Gordillo Perdomo

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos:

Al Ingeniero Eduardo Valencia Granada director de este proyecto, por su asesoría, entusiasmo y estímulo para seguir creciendo intelectualmente.

A la cooperativa de Ingenieros Creer en lo Nuestro, especialmente al Ingeniero Jaime Saavedra Perdomo, Director, al ingeniero Oscar Alvis Pinzón y al ingeniero Jorge Monje Mahecha, por su apoyo y valiosa colaboración.

Agradecemos a todos los profesores y compañeros de la Universidad Surcolombiana, por brindarnos la oportunidad de aprender de ellos y de compartir momentos inolvidables que quedarán en nuestra mente para siempre.

Y demás personas que de una u otra forma colaboraron en el proceso de formación profesional.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	18
1. MARCO CONCEPTUAL	19
1.1 La porcicultura en Colombia	19
1.2 La porcicultura en el Huila	19
1.3 Problemática de los residuos de la explotación porcina	20
1.4 Utilización de las excretas porcinas	22
1.5 Manejo de las aguas residuales porcícolas	23
1.6 Antecedentes	27
2. METODOLOGIA	30
2.1 CARACTERÍSTICAS DE LA LOCALIDAD	30
2.1.1 Ubicación	30
2.1.2 Climatología	31
2.1.3 Hidrografía	31
2.1.4 Economía de la zona	31
2.1.5 Descripción de la finca	31
2.2 TRABAJO DE CAMPO	31
2.2.1 Información básica	31
2.2.2 Caracterización de las aguas residuales	32
2.2.3 Prueba de sedimentación del efluente	33

	Pág.
2.2.4 Prueba tiempo de secado del concentrado	33
2.2.5 Volumen de agua de lavado	34
2.2.6 Topografía	34
2.3 TRABAJO DE OFICINA	34
2.3.1 Revisión de literatura	34
2.4 DISEÑO	34
2.4.1 Información básica	34
2.4.2 Diseño conceptual	34
2.4.3 Diseño físico	35
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	36
3.1 INFORMACION BASICA	36
3.1.1 Porqueriza, Finca Canagueros	36
3.1.2 Aspectos constructivos	37
3.1.3 Caudal de aguas residuales	37
3.1. 4 Caracterización de las aguas residuales	39
3.1.5 Prueba de sedimentación	39
3.1.6 Prueba tiempo de secado del concentrado	41
3.2 DISEÑO	42
3.2 .1 DISEÑO CONCEPTUAL	42
3.2.1.1 Propuesta de manejo de los residuos de la porqueriza.	42
3.2.1.2 Niveles de tratamiento del sistema de aguas residuales	42

	Pág.
3.2.1.3 Unidades y procesos del sistema de tratamiento de aguas residuales	43
3.2.1.4 Esquema general del sistema	43
3.2.1.5 Eficiencia de remoción de contaminantes. Prueba N°1	44
3.2.1.6 Remociones teóricas de las unidades del sistema	44
3.2.1.7 Eficiencia teórica del sistema	45
3.2.1.8 Manejo del concentrado recuperado	45
3.2.1.9 Unidades y procesos del sistema de manejo del concentrado recuperado	46
3.2.1.10 Diagrama de subproductos	46
3.3 DISEÑO FISICO	47
3.3.1 Tanque de sedimentación	47
3.3.2 Tratamiento de aguas residuales	48
3.3.2.1 Diseño del biodigestor	48
3.3.2.2 Diseño albercas biológicas	51
3.3.3 Dimensionamiento de la estructura de secado	53
3.3.3.1 Tanque de secado	53
3.3.3.2 Secador parabólico	55
3.4 SUBPRODUCTOS	55
3.4.1 Concentrado a recuperar	55
3.4.2 Producción de biogás	56
3.5 ASPECTOS CONSTRUCTIVOS	57

	Pág.
3.6 OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	58
3.7 PRESUPUESTO GENERAL	59
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	61
BIBLIOGRAFIA	62
ANEXOS	64

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Inventario general porcícola para el departamento del Huila (2006)	19
Tabla 2. Contaminación por excretas porcinas en función del peso del animal	21
Tabla 3. Características fisicoquímicas aguas residuales porcinas	21
Tabla 4. Composición mineral excretas porcinas frescas	22
Tabla 5. Recursos presentes en los desechos porcinos.	26
Tabla 6. Tiempo de retención en Biodigestores en función de la temperatura	26
Tabla 7. Métodos para análisis de muestras.	32
Tabla 8. Superficies utilizadas para la prueba de secado del concentrado.	34
Tabla 9. Áreas de los cubículos. Porqueriza finca Canagueros.	36
Tabla 10. Clasificación de los cerdos en la finca Canagueros	36
Tabla 11. Tamaño de la piara, porqueriza finca Canagueros	37
Tabla 12. Peso de los cerdos, Finca Canagueros	37
Tabla 13. Caracterización del Agua Residual porcícola, finca Canagueros.	39
Tabla 14. Prueba de sedimentación con aguas residuales de la porqueriza, Finca Canagueros	40
Tabla 15. Prueba de secado del concentrado recuperado	41
Tabla 16. Eficiencias de remoción de contaminantes en la prueba N° 1.	44
Tabla 17. Remoción teórica de las unidades del sistema.	45
Tabla 18. Eficiencia teórica de remoción del sistema.	45

	Pág.
Tabla 19. Dimensiones del tanque de sedimentación.	47
Tabla 20. Dimensiones y volumen de los biodigestores	50
Tabla 21. Dimensiones cajas de entrada y salida del biodigestor	51
Tabla 22. Dimensiones de la alberca biológica	53
Tabla 23. Dimensiones del tanque de secado	54
Tabla 24. Dimensiones del secador parabólico	55
Tabla 25. Dimensionamiento de las Unidades del sistema.	57
Tabla 26 Presupuesto general	60
Tabla 27. Observaciones prueba de sedimentación N° 1 (aguas residuales provenientes de la porqueriza).	66
Tabla 28. Observaciones prueba de sedimentación N° 2 (Concentrado disuelto en agua).	67
Tabla 29. Prueba tiempo de secado del concentrado recuperado	67

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Biodigestor. Finca Cartama	25
Figura 2. Estufa con Biogás. Finca Cartama	25
Figura 3. Ubicación geográfica Municipio de Rivera	30
Figura 4. Ubicación geográfica Predio Canaguaro - Municipio de Rivera.	30
Figura 5. Recipiente para ensayo de sedimentación	33
Figura 6. Ensayo de sedimentación	33
Figura 7. Resultados prueba sedimentación	40
Figura 8. Altura del concentrado sedimentado	41
Figura 9. Diagrama Sistema Integrado Sostenible para manejo de residuos de la porqueriza.	42
Figura 10. Diagrama niveles de tratamiento del sistema	43
Figura 11. Diagrama Unidades y procesos del sistema de tratamiento	43
Figura 12. Diagrama general del sistema de tratamiento de aguas residuales.	44
Figura 13. Diagrama Manejo de concentrado recuperado	45
Figura 14. Diagrama Unidades y procesos del sistema de manejo del concentrado recuperado.	46
Figura 15. Disposición de Subproductos del sistema	46
Figura 16. Vista en Planta y Corte A' del tanque de sedimentación	48
Figura 17. Esquema general de la estructura del biodigestor	49
Figura 18. Vista en planta del Biodigestor	51

	Pág.
Figura 19. Corte A' del Biodigestor	51
Figura 20. Esquema general de la alberca biológica	52
Figura 21. Vista en Planta y sección transversal de alberca biológica	53
Figura 22. Esquema general del tanque de secado	53
Figura 23. Esquema general del secador parabólico	55
Reseña fotográfica	68

LISTA DE PLANOS

	Pág.
Plano 1. Localización del sistema de tratamiento. Finca Canagueros	73
Plano 2. Vista en planta y perfil general del sistema	74
Plano 3. Detalles del tanque de sedimentación	75
Plano 4. Detalles del Biodigestor	76
Plano 5. Detalles de la alberca biológica	77
Plano 6. Detalles del tanque de secado	78

LISTA DE ABREVIATURAS

Af	= Afluente
Ef	= Efluente
UPA	= Unidad de producción animal
DBO	= Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO	= Demanda Química de Oxígeno
ST	= Sólidos Totales
SV	= Sólidos Volátiles
SS	= Sólidos Suspendidos
SST	= Sólidos Suspendidos Totales
m.s.n.m.	= metros sobre el nivel del mar
L, L ₁ y L ₂	= longitud
T ₁ y T ₂	= Tratamiento
Q	= Caudal
Q _{AR}	= Caudal de Aguas Residuales
Q _L	= Caudal de aguas de lavado
Q _E	= Caudal por excretas
W _E	= peso de las excretas
TRH	= Tiempo de Retención Hidráulica
N	= Nitrógeno amoniacal

P	= Fosfatos
G y A	= Grasas y Aceites
h	= Altura
h_T	= Altura del concentrado sedimentado
P_u	= Profundidad Útil
V	= Volumen
V_{LIQ}	= Volumen del liquido
V_G	= Volumen del gas
V_T	= Volumen Total
e	= Espesor
MS	= Materia seca
PB	= Producción de biogás
KPV	= Kilogramos de peso vivo
SL	= Soporte lateral
SC	= Soporte central

RESUMEN

Para el tratamiento de las aguas residuales producto del manejo de 400 cerdos en la finca Canagueros (Rivera Huila), se diseñó un sistema integrado sostenible, que contempla tratamiento, reuso y producción. El sistema de tratamiento se compone de: un tanque de sedimentación, cuya función es separar de las aguas residuales parte del concentrado. Para el tratamiento de los residuos líquidos provenientes del sedimentador: un biodigestor y una alberca biológica. Para reuso y producción: el efluente final del sistema será utilizado para riego de pastos; el concentrado recuperado del sedimentador y después de deshidratado en un secador parabólico, será utilizado como alimento para bovinos; el biogás para calentamiento de los cubículos de cría; los lodos provenientes del biodigestor y de la alberca biológica después de compostados, como abono para pastos. Se tomaron muestras del efluente de la porqueriza las cuales fueron analizadas en el Laboratorio de Aguas de la Universidad Surcolombiana, se realizaron pruebas de sedimentación y secado del concentrado a recuperar. Las eficiencias teóricas del sistema se consideran altas, 83% en DBO, 94% en SS, 88% en G y A, 71% en N, 78% en P y 99.9% en CF.

Palabras claves: Aguas residuales, porquinaza, tratamiento, reuso.

ABSTRACT

For the sewage water treatment product of the handle of 400 pigs in Canaguero Farm it was designed a sustainable integrated system that include treatment, reuse and production. Treatment system is compound by: sedimentation tank; its function is to separate livestock feed from residual sewage. For liquids from sedimentation tank treatment a biogas plant and a biological sink are used. Reuse and production: final effluent will be used for grass irrigation; livestock feed recovered from sedimentation tank and dehydrated in a parabolic dryer will be used as feed; biogas will be used for warming nests; muds from biogas plant and biological sink become in compost will be used as grass fertilizer. It was taken effluent samples from pigsty and analyzed in Water Lab of the USCO. System Theoretical efficiency is consider as high: 83% in DBO, 94% in SS, 88% en G y A, 71% en N, 78% en P y 99.9 en FC.

Key Words: sewage water, pig excrement, treatment, reuse

INTRODUCCION

La contaminación ambiental causada por el inadecuado manejo de las aguas residuales, es un problema que afecta a todos los países del mundo y es mayor en países subdesarrollados, como es el caso de Colombia.

En el departamento del Huila, las aguas residuales producto de actividades agropecuarias generalmente son vertidas sin ningún tratamiento previo a las fuentes hídricas, contaminándolas.

El manejo adecuado de las aguas residuales, además de la conservación del medio ambiente, puede convertirse en una alternativa importante de recursos, ya que los subproductos de los sistemas de tratamiento pueden ser utilizados para el riego de cultivos, obtención de gas propano, alimento para animales, abono orgánico, entre otros.

El problema de la disposición sanitaria de los desechos porcícola es de gran magnitud, por la cantidad de contaminantes que contienen. Pero, es necesario tener en cuenta que dos tercios de los alimentos suministrados a los cerdos se convierten en desechos, de los cuales, el 60% es concentrado que se puede recuperar.

Para la disposición de las aguas residuales porcícolas y su tratamiento, se contemplan múltiples soluciones, que dependen de las condiciones locales, y capacidad económica. La tendencia actual para el tratamiento de este tipo de aguas residuales, es utilizar sistemas no convencionales, de fácil construcción, operación y mantenimiento.

La finca los Canaguaros ubicada en el Municipio de Rivera, actualmente presenta un problema con la disposición de las aguas residuales provenientes de la actividad porcícola, las cuales son vertidas a un pozo séptico, cuya capacidad es insuficiente, siendo finalmente dispuestas a cielo abierto.

Como una alternativa de solución al problema mencionado y dentro del concepto de sistema integrado sostenible, se propone un diseño que contempla un Tanque de Sedimentación y un secador parabólico para el concentrado recuperado; un Biodigestor y una Alberca Biológica para las aguas residuales. El efluente del sistema será utilizado para riego de pastos, el biogás para calentamiento, y el concentrado recuperado para alimento de ganado vacuno.

1. MARCO CONCEPTUAL

1.1 LA PORCICULTURA EN COLOMBIA

A pesar que la porcicultura no es fuerte en Colombia, tan solo aporta el 0.39% al producto interno bruto -PIB- nacional y el 1.8% de la producción agropecuaria (calculado a partir de Maldonado, 1997: Valor de la producción agropecuaria, 1990-1996). (Sarria, 1998), durante los últimos 15 años, el sector porcícola ha realizado un importante esfuerzo para el desarrollo de la productividad de esta industria, buscando mejorar la competitividad en la cadena productiva con miras a fortalecer su participación en el mercado interno y crear opciones en el mercado externo de proteína animal. (Velasco, 2009).

Dentro de las principales cifras del sector, se resalta el comportamiento del sacrificio y producción, el cual muestra que, para 2006, fue de 1'902.939 cerdos, mientras que en 2005 fue de 1'656.457. En correspondencia, la producción de carne de cerdo y subproductos fue de 148.239 TM en 2006 y de 129.038 en 2005. Adicionalmente, la dinámica de la producción ha sido muy importante, puesto que, entre 2000 y 2005, el sector creció a una tasa anual promedio del 6%. (Velasco, 2009).

1.2 LA PORCICULTURA EN EL HUILA

La porcicultura del departamento del Huila, está constituida por 118.848 cerdos (6.25% de la producción Nacional) entre machos y hembras en cualquier etapa de desarrollo, cifra que aumentó en cerca del 30% al año inmediatamente anterior, lo que nos muestran, el notorio aumento de la actividad porcícola en el departamento (Anuario estadístico agropecuario, 2006).

La tabla 1, presenta la actividad porcícola en el departamento del Huila:

Tabla 1. Inventario general porcícola para el departamento del Huila (2006)

ZONA	MACHOS			HEMBRAS			TOTAL PORCINOS
	CRIA	LEVANTE	CEBA	CRIA	LEVANTE	CEBA	
<i>Norte</i>	2.910	15.352	12.370	9.350	16.971	13.909	70.862
<i>Occidente</i>	4.55	2.033	1.697	1.411	2.315	1.635	9.546
<i>Centro</i>	7.17	3.304	4.097	1.685	4.619	4.572	18.994
<i>sur</i>	6.59	3.805	3.591	2.298	4.802	4.289	19.444
TOTAL DPTO	4.741	24.494	21.755	14.744	28.707	24.405	118.846

Fuente: Anuario estadístico agropecuario para el Huila, 2006.

Entre los municipios del departamento del Huila con mayor producción porcina tenemos a Neiva con 29.414 cerdos, Pitalito con 8.205, Palermo 7.502, Campoalegre con 6.780, Rivera 6.255, Garzón 5.020 y La Plata con 3.958 cerdos. (Anuario estadístico agropecuario, 2006), criados por 9.044 poricultores en sus predios, de los cuales solo 120 poseen más de 100 cerdos, 158 poseen entre 31 y 99, y el resto poseen entre 1 a 30 cerdos. (Porcihuila, 2007).

1.3 PROBLEMÁTICA DE LOS RESIDUOS DE LA EXPLOTACIÓN PORCINA

Los cerdos consumen alimentos de un alto valor proteico, sin embargo, son ineficientes transformadores 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. (Violeta E y Dimna E., 2001).

Además, generan descargas de alta carga, debido principalmente a la concentración de muchas cabezas en un espacio reducido, a un mal manejo del agua en las granjas y al consumo de alimentos con alto contenido de proteína que no son asimilados por el cerdo; “Las excretas porcinas tienen un alto contenido de materia orgánica biodegradable (aproximadamente 55%) y un gran número de elementos contaminantes entre los que destacan: patógenos, nitrógeno y minerales como el cobre, zinc y arsénico”. (Violeta E y Dimna E., 2001).

Como la composición y la cantidad de residuales depende de diferentes factores: edad, peso vivo, consumo de agua y alimento y digestibilidad de la dieta, instalaciones y manejo de los residuales. (Pearce, 1977), para los cálculos de ingeniería utilizados para el diseño de sistemas de tratamiento, se emplea un promedio de 6.17Kg de heces y orina que se generan por Unidad de producción Animal UPA (Una UPA es equivalente a 100Kg de peso vivo), este promedio es igual al 6.71% del peso vivo total en la granja. Además, se considera que una (UPA), genera aproximadamente 250 gramos de DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno) por día si se utilizan 36 litros de agua para su lavado. (Pérez, 1998).

De estudios estadísticamente significativos realizados en países como EUA, Malasia; Singapur, Chile y como puede ser apreciarse en el manual para el manejo y control de aguas residuales y excretas porcinas en México, pág. 44, sobre el tema, se sabe que la orina representa el 45% y las heces el 55%;

cerca del 90% de los sólidos se excretan en las heces y un 10% en la orina como minerales, potasio, fósforo y amoníaco-nitrógeno. (Pérez, 1998).

En la tabla 2, se muestran los aportes de contaminación, generados por las excretas porcinas en función del peso:

Tabla 2. Contaminación por excretas porcinas en función del peso del animal

Parámetros	Por 100 Kg. De peso vivo	100 cerdos En ceba/día	Por año
<i>Demanda Bioquímica De oxígeno (Kg.)</i>	0.25	12.5	4562
<i>Demanda Química de Oxígeno (Kg.)</i>	0.75	67.5	13687
<i>Sólidos suspendidos totales (kg.)</i>	0.60	30	10950
<i>Sólidos totales (Kg.)</i>	0.75	2.25	13687
<i>Nitrógeno /Kg.)</i>	0.045	1.50	547.5

Fuente: Adaptada de ACP, Cornare, Corantioquia, 1997.

La tabla 3, presenta una caracterización de las aguas residuales provenientes de la actividad porcícola:

Tabla 3. Características fisicoquímicas aguas residuales porcinas

PARÁMETROS DE UNIDAD	(g/ l)
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	8.0-50
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	10.0-200
Sólidos Totales ST	1.2-5.0
Sólidos Volátiles SV	0.5-5.0
pH	6-8 unidades
Nitrógeno Total	1.5-5.0
Fósforo	1.0-3.0
Potasio	1.0-3.0
Densidad Estiércol	1.01-1.03

Fuente: Arias, 1998.

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 (Henning y Flachowsky, 1982). Dada su condición de monogástrico, el cerdo concentra en las excretas altos niveles de pared celular (44.6%), lignocelulosa (24,3%), lignina (4,9%) y hemicelulosa (20,3%) (Hillar, 1977). También contiene otros elementos como plomo, cadmio y arsénico, vitamina A y del complejo vitamínico B (Henning y Flachowsky, 1982).

La tabla 4, contiene la composición mineral de las excretas porcícolas frescas:

Tabla 4. Composición mineral excretas porcinas frescas

MINERALES	PROMEDIO	RANGO
Cenizas	181 g/Kg	163 - 236
Calcio	32 g/Kg	11 - 59
Fosforo	25 g/Kg	12 - 34
Potasio	12 g/Kg	7 - 25
Magnesio	8 g/Kg	4 - 25
Cobre	249 mg/Kg	22 - 636
Zinc	526 mg/Kg	128 - 891
Hierro	1940 mg/Kg	764 - 4700
Manganeso	342 mg/Kg	114 - 561
Cobalto	6,1 mg/Kg	2,2 - 15,2
Molibdeno	0,3 mg/Kg	0,2 - 0,5

Fuente: Díaz y España ,1996.

1.4 UTILIZACIÓN DE LAS EXCRETAS PORCINAS

Las excretas Porcinas, son un subproducto de la producción ganadera, que generalmente se cataloga como residuo. Sin embargo, desde un punto de vista de producción limpia, es un material con numerosos usos, entre ellos; para los residuos sólidos: compost, lombricultura, porquinaza solida seca (abono), porquinaza en alimentación animal, fertilización con porquinaza solida; en cuanto a las excretas líquidas: fertilizantes líquidos, producción de energía y biomasa, pastos productivos complementarios y por tratamientos de alta depuración. (Arias, 1998).

Como fuente de alimento para rumiantes, es ideal, debido a que su composición química se caracteriza por tener un alto contenido de proteína cruda, fibra cruda, cenizas, y valores bajos de extractos etéreos. Las excretas de cerdo en engorda contienen nitrógeno en forma de proteína cruda (23.5%) y en forma de nitrógeno proteico (66.3%) (Kornegay, et al, 1977).

Sin embargo, el uso de excretas frescas no es totalmente aceptado debido a la supuesta presencia de microorganismos, posiblemente patógenos, tanto para los animales como para el hombre. Para evitar este problema, las excretas y el guano (solido prensado), ha sido probado en forma de ensilaje solo o combinado con otros ingredientes, seco y húmedo en dietas para ovinos y bovinos; buscando sustituir granos o fuentes proteicas dado su contenido de

alrededor del 20% de proteína cruda. El ensilaje de excretas o guano es un proceso que disminuye las pérdidas de nutrientes, elimina los patógenos, mejora la potabilidad e incrementa el consumo voluntario. Es posible además incorporar otros subproductos agroindustriales como la paja de cereales y la melaza. Sin embargo el ensilaje, da origen a un producto voluminoso relativamente difícil de manipular y con menor contenido de energía. (Herrera y Peralta, 1997).

1.5 MANEJO DE LAS AGUAS RESIDUALES PORCÍCOLAS

Las aguas residuales pueden ser manejadas de diferentes maneras, bien sea por procesos físicos, químicos o biológicos; por lo general, estos sistemas se realizan de forma combinada (Chara, 1998).

En los Tratamientos Físicos se llevan a cabo procesos de Filtración, sedimentación y evaporación.

La *Separación de sólidos y líquidos* se puede realizar mediante pantallas estacionarias o cribas ó por separadores de tornillo de prensa. Los primeros, remueven solo parte del agua libre por gravedad y nada de la depositada por capilaridad en las mezclas de sólidos y líquidos. En el segundo caso, se exprime toda el agua libre, mas una parte de la depositada por capilaridad, produciendo sólidos secos que se pueden transportar fácilmente y usarse en alimentos balanceados. Estos dos sistemas tienen como desventaja la elevada pérdida de nutrimentos cuando los líquidos no son utilizados, la presencia de microorganismos patógenos, elevada inversión inicial así como un alto costo por mantenimiento del mecanismo de separación, a demás es un equipo recomendado para granjas con grandes instalaciones. (Ramírez, 2005).

Con la *deshidratación al sol*, se tiene un producto seco que puede almacenarse e incorporarse fácilmente en una dieta completa, la contaminación del aire es baja y el manejo que se requiere es mínimo. (Ramírez, 2005). La deshidratación se puede producir por cualquiera de las siguientes técnicas: Secado solar en plataforma, Secado solar en eras, Secado solar en invernadero, Secado con equipo y por combustión de algún energético. El tipo invernadero, puede ser una caseta cubierta con plástico en cuyo piso se aloja el estiércol; el piso debe tener un sistema de drenaje para el excedente de agua. La caseta cuenta con un sistema de ventilación natural para desalojar la humedad procedente de la evaporación. Las ventajas de este sistema, son eliminación de bacterias no esporuladas, muerte de huevos y larvas de parásitos e insectos, detención de los procesos de oxidación o fermentación, estabilización del contenido nutricional, disminución del peso y volumen del estiércol, eliminación de malos olores (como producto final). Las principales

desventajas son: aumento de la pérdida de N por volatilización (hasta un 60%), proliferación de moscas y otros insectos, generación de olores desagradables durante el proceso, necesidad de un terreno amplio. (Salazar, 2005)

En el *Secado artificial*, debido a las altas temperaturas que se alcanzan con el tratamiento, eliminan patógenos y las heces secas son inodoras. Este procedimiento requiere el uso de equipo caro y los costos de energía, recolección y transporte de las excretas hacia los deshidratadores son elevados. (Ramírez, 2005).

En el tratamiento químico, Se llevan a cabo procesos de neutralización y la precipitación. Se emplean bacterias, solventes o enzimas. El uso de solventes se basa en que extraen la proteína presente en los residuos procesados. Este tratamiento ha sido utilizado como una alternativa de terminado o pulido de las aguas residuales, después de los tratamientos aeróbicos o anaeróbicos. (Ramírez, 2005).

En el Tratamiento biológico, se llevan a cabo procesos aeróbicos y anaeróbicos.

Las *Lagunas de almacenaje y fermentación*; pueden ser anaeróbicas, las cuales requieren menor superficie, pero generan malos olores (compuestos sulfurosos), dificultades para alcanzar una temperatura adecuada (30 y 60 °C) para que se realice la digestión de los desechos, ya que a menor temperatura se inhibe la acción bacteriana, y se forman lodos que deben ser removidos. En las aeróbicas, intervienen bacterias que degradan la celulosa y la lignina muy lentamente, estos sistemas son aireados natural o mecánicamente, no produce malos olores, pero se requiere de lagunas no muy profundas y de un gran espejo de agua, además se pierde el valor fertilizante de los desechos; En las lagunas facultativas, se llevan a cabo los dos procesos anteriores; en el fondo de la laguna se lleva a cabo el proceso anaerobio y en la superficie el aeróbico. (Ramírez, 2005).

Otros tratamientos biológicos, son el uso de digestores anaeróbicos, donde las excretas al ser digeridas, forman biogás que puede ser utilizado como combustible, y el tratamiento de los sólidos previamente separados por medio de ensilaje o compost. (Ramírez, 2005).

Las *albercas biológicas*, son un sistema de tratamiento de aguas residuales utilizado para el tratamiento de pequeños caudales, generalmente de tipo doméstico o de las explotaciones pecuarias; consiste en un tanque donde se siembran plantas acuáticas que son las que realizan el tratamiento y muchas

veces se complementa con un filtro o escalones para oxigenación. (Medina, 2007).

Debido a la habilidad que poseen las plantas acuáticas para asimilar y retener contaminantes, se han comenzado a utilizar estas para detectar la calidad de los efluentes industriales o de origen pecuario, y para removerlos de lagunas donde han sido previamente vertidas dichas aguas. (Conde y Otros, 2007).

Los productos finales que se generan en el tratamiento de aguas residuales por medio de las albercas biológicas son, el buchón de agua, lodo y el efluente. El buchón de agua por ser rica en oxígeno, Nitrógeno, fosforo y potasio, puede ser utilizada como un elemento para compostar y fertilizar los suelos. El lodo, al ser estabilizado con cal y secado, puede ser utilizado como fertilizante orgánico o como suplemento alimenticio debido a su alto contenido de nutrientes, como el nitrógeno proteico que es indispensable en la alimentación de rumiantes; el efluente puede ser utilizado para riego. (Conde y Otros, 2007).

Los *Biodigestores*, (Ver figura 1), son un sistema artificial con bacterias pero sin aire, cuyo deposito se encuentra completamente cerrado, en donde ocurre un proceso de fermentación natural en ausencia de oxígeno, facilitando el crecimiento y la proliferación de un grupo de bacterias anaerobias metanogénicas que descomponen y tratan los residuos dejando como resultado final, un gas combustible conocido como Biogás o gas Metano y Dióxido de Carbono (Ver figura 2), además de un efluente (bioabono) líquido alcalino rico en nutrientes y materia orgánica estabilizada. (Manual Técnico Para El Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas. 1997).



Figura1. Biodigestor. Finca Cartama



Figura 2. Estufa con Biogás. Finca Cartama

La tabla 5, muestra los productos que se podrían obtener del estiércol de una explotación porcina si es adecuadamente utilizado.

En el paso a través de los biodigestores la contaminación se reduce hasta en un 80% en las condiciones colombianas (Pedraza y Chará, 1997),

Tabla 5. Recursos presentes en los desechos porcinos.

Producto	Tasa de producción	Producción diaria por 100 cerdos	Equivalente
Biogás (m ³)	0.69 – 1.02 m ³ /Kg de MS*	25.9 – 38.2	990 a 1460 gal de diesel**
Nitrógeno (kg)	0.045 kg/100 kilos de peso	2.25	1784 kg de urea
P ₂ O ₅ (kg)	0.031 kg/100 kilos de peso	1.5	1190 kg de superfosfato triple
* 0.75 kg por 100 KPV (ACP, Cornare, Corantioquia,1997)			
** 1 m ³ de biogás = 0.1 galones de diesel (Polprasert, 1989)			

Fuente: Chara, 1998.

El tiempo mínimo de retención es de 2 a 4 días, que es lo que tardan las bacterias para multiplicarse. Si el tiempo de retención se reduce, se lavan las bacterias y se interrumpe el ciclo. Usualmente el tiempo de retención promedio oscila entre 20 y 30 días, y su duración está muy relacionada con la temperatura. (Morales, 1985).

En la tabla 6, se indican los tiempos de retención encontrados en función de la temperatura ambiente, cuando los sustratos presentes en el biodigestor son desechos o excretas de origen animal o humano.

Tabla 6. Tiempo de retención en Biodigestores en función de la temperatura

TEMPERATURA (°C)	TIEMPO RETENCIÓN (DIAS)
10	90
15	60
20	45
25	37
30	32
35	28

Fuente: Chara, 2002

Los biodigestores más comunes en nuestro medio, son los de estructura móvil. El más conocido de este tipo en países latinoamericanos son los de estructura flexible o tipo Taiwán. (Santana, 1985).

1.6 ANTECEDENTES

La utilización productiva de excretas ha sido una estrategia importante para mejorar la rentabilidad de las pjaras. En el Valle se han desarrollado tecnologías interesantes en este sentido. El paso de las excretas de 100 cerdos por Biodigestores permite una disminución de la materia orgánica de

desecho de alrededor del 70%, mejora las características del material sobrante para usarlo como abono que puede remplazar 1800 Kg de urea y 1200 Kg de superfosfato, y produce gas para cocinar, calentar lechones o ahorrar el 25% del combustible fósil en motores, equivalente a 1200 galones de ACPM. Para disminuir la contaminación de los efluentes del biodigestor cuando no se usan como abono, se pasan por canales de descontaminación sembrados con plantas acuáticas, que se pueden utilizar como fuente de abono verde o alimento animal; También los lodos se pueden utilizar para el abonamiento de cultivos sembrados en los diques de los canales. Al final de la cadena, se ha logrado bajar tanto la carga orgánica, que ha permitido la vida de peces. (Sarria, 1998).

En la reserva Pozo Verde en el municipio de Jamundí Valle del Cauca, se trata el agua de la sección de gestación con un número aproximado de 100 cerdas y una generación de 2,9 m³ de aguas residuales por día. El sistema cuenta con dos biodigestores de 14 m³ y un canal de 64 m² sembrado con *Eichhornia crassipes*. Como resultado, se obtuvieron remociones superiores al 95% en la DBO y los SST, además de que se obtuvo biogás y las plantas acuáticas fueron empleadas en el abonamiento de cultivos y alimentación animal (Chara, 1998).

Según Chara (1996), en 1995 la construcción de un biodigestor de 9 m³ en pastico, de flujo continuo tipo CIPAV ha demostrado ser muy eficiente tanto en la producción de biogás como en la descontaminación de residuales porcinos. La producción de biogás fue en promedio de 6,3 horas/día, y se logro un buen nivel de remoción de DBO y sólidos.

En la granja El Vergel en el Dovio, (Valle) se tratan las AR con excretas porcinas con un sistema de tratamiento que posee tres canales con “jacinto de agua” (*Eichhornia crassipes*) y un estanque de 28 m² sembrado con “Lemna” (*Lemna sp.*), se obtuvo una remoción del 91% de la DBO y del 98% de los SS. En el mismo lugar, se trataron las aguas de lavado de 80 cerdas en gestación, con un biodigestor de 17 m² y complementándolo con 130 m² de “jacinto de agua” (*Eichhornia crassipes*), se logró una reducción de 97% de DBO, del

93,8% de los SS y del 99,9% de los ST en el tramo cultivado con la planta acuática. (Pedraza, 1996).

En el Municipio de la Plata - Huila, Vereda el Tablón, la finca el Rancho de Elisa, trata las aguas residuales producidas por 16 cerdos de 50 kg de peso vivo, en un biodigestor de 12 m de largo por 1.30 m de diámetro, construido en polietileno tubular AGROLENE tipo invernadero, cuya vida útil es de 5 años. La producción de Biogás es utilizada para uso domestico en la cocina de la finca y el efluente como Bioabono. Se obtuvo una remoción del 94.86% de la DBO, 86.04% de DQO, 86.87% de SS, 79.87 de ST, 98.22% de sólidos sedimentables, 12.56% de coliformes totales y 0.075% de *Escherichia coli*. (Botache y otros, 2001).

En la Institución Educativa el Tejar, Vereda El Tejar Municipio de Timaná - Huila, se diseñó un sistema de tratamiento de aguas residuales provenientes de la explotación de 100 cerdos entre cría, levante y ceba, con peso promedio de 50 Kg, que consta de dos albercas biológicas de 10 m² y un filtro de 5 m², complementado con un canal con "jacinto de agua" (*Eichhornia crassipes*) de

32 m² de área superficial. La parte sólida de las excretas será utilizada en lombricultura y el efluente en riego de pastos y piscicultura. Se esperan remociones teóricas de 83% de DBO, 77% de SS, 99.9% de CF, 68% de N y 67% de P. (Medina, 2007).

En la Vereda Potreritos Municipio de Aipe - Huila, la finca CARTAMA lleva 15 años tratando las aguas residuales producidas por 40 cerdos de diferentes edades, mediante un biodigestor de 10 m de largo y 1.50 m de diámetro, de Geomembrana termocellada, donada por la fundación HOCOL; la construcción fue realizada por el propietario de la finca, con un costo aproximado a los 2 millones de pesos. La producción de biogás es utilizada para uso domestico de la finca, logrado disminuir en un 100% la tala de árboles que era utilizado para la cocina. El efluente se utiliza para el riego de pastos de corte. (Charri, 2009).

La utilización de biodigestores en el departamento del Huila es a gran escala. En la zona norte del Departamento, se encuentran instalados alrededor de 30 biodigestores, en su mayoría construidos por la fundación HOCOL; en el Municipio de Yaguará hay aproximadamente 18 biodigestores, en Palermo alrededor de 100, y en la zona sur del departamento del Huila también se encuentran construidos biodigestores. Los biodigestores donados por la fundación HOCOL, tienen 10 m de largo por 1.50 m de diámetro, en su gran mayoría para tratar aguas residuales provenientes de la actividad porcícola. La lona utilizada en estos biodigestores, es una Geomembrana termocellada, de

alta tenacidad, resistente a rayos ultravioleta y con acción biocida (minimiza el ataque de insectos y microorganismos). El costo de la geomembrana (en Ibagué) utilizada para un biodigestor (10 X 1.50 m) es de \$3'500,000.oo y su vida útil se estima en 15 a 20 años. En la parte baja del Rio las Ceibas, la empresa petrolera PETROBRAS, está instalando biodigestores prefabricados tipo Rotoplast o Eternit, que son de gran resistencia, pero su transporte, instalación y costo es de \$9'000,000.oo. (Rodríguez, 2009).

En el Municipio de Campoalegre (Huila), la granja la Angostura del SENA, las aguas residuales producidas por 50 cerdos adultos, son tratadas en un Biodigestor, construido en el año 2008, tipo Rotoplast de 7 m de largo por 1.50 m de diámetro, con capacidad de 16000 litros, automatizado en su llenado y descarga; su costo es de \$16'000,000.oo. El Biogás, es aprovechado para el calentamiento de la pira y en iluminarias utilizadas en las cocheras de gestación, y el efluente es utilizado para el riego de pastos de corte. (Barrios, 2009).

2. METODOLOGIA

2.1 CARACTERISTICAS DE LA LOCALIDAD

2.1.1 Ubicación

La finca los Canaguaro está localizada al Noroccidente del Municipio de Rivera, en jurisdicción de la vereda los Medios, región norte del departamento del Huila, aproximadamente a 5 km del casco urbano del Municipio de Rivera, sobre la margen derecha de la vía que de este municipio conduce a la Vereda Arenoso. Geográficamente, se halla situada entre los 2° 09' latitud norte y los 75° 39' latitud oeste. (Ver figuras 3 y 4).



Figura 3. Ubicación geográfica Municipio de Rivera



Figura 4. Ubicación geográfica Predio Canaguaro - Municipio de Rivera.

2.1.2 Climatología

La Vereda los Medios, se encuentra en la zona plana del valle del río Magdalena, clasificada como zona de vida Bosque Seco Tropical (bs – T), a una altura de 700 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.), su temperatura media $T = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ y la humedad relativa media 71,9%, precipitaciones multianuales entre 1251mm a 1663.1mm con evaporación promedio anual de 2040 mm.

2.1.3 Hidrografía

La red hídrica está conformada por el Río Magdalena el cual es la arteria principal de la zona y la corriente de Río Frío; el predio cuenta con una concesión de aguas de 40.29 L/s otorgada por la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena – CAM, mediante resolución No 3012 del 29 de diciembre de 2006 por la cual se reglamenta el uso y aprovechamiento de las aguas de Río Frío.

2.1.4 Economía de la zona

Se basa en la ganadería, agricultura, piscicultura y porcicultura. Los cultivos más importantes son: el cacao, maíz, caña de azúcar, tabaco rubio, frijol, frutales. Se destaca la producción de flores: orquídeas y azucenas. La ganadería se desarrolla mediante el pastoreo localizado en parte plana y esta representada en ganado de doble propósito.

2.1.5 Descripción de la Finca

Los Canagueros, cuenta con un área de 95 hectáreas (ha), distribuidas en 16 ha de cacao y 79 ha de pastos, divididas en 8 potreros de tamaños diferentes. Su producción se basa principalmente en la ganadería, porcicultura y cacao. Incluye en su infraestructura, vivienda, establo y porquerizas. Cuenta con energía eléctrica, agua potable y teléfono, con un tanque séptico para la recolección y tratamiento de las aguas residuales.

2.2 TRABAJO DE CAMPO

2.2.1 Información básica

Se realizaron visitas a las instalaciones de la finca, con el fin de obtener la información necesaria para la ubicación y diseño del sistema de tratamiento.

Se tomaron datos sobre el estado, tipo y área de la porqueriza, forma de lavado, caudal de aguas residuales y destino de los residuos.

2.2.2 Caracterización de las aguas residuales

Se tomó una muestra de 5 litros del efluente de la porqueriza en un balde calibrado, el día miércoles 18 de marzo de 2009, a las 3:30 pm, y las temperaturas ambiente y del agua. De esta agua, se tomaron 4 muestras de 500 mililitros cada una, en recipientes entregados por el laboratorio de aguas de la Universidad Surcolombiana para tal fin. Las muestras fueron entregadas al Laboratorio de Aguas de la Universidad Surcolombiana, a las 4:45 pm del mismo día. En el laboratorio de aguas, dos de las muestras se colocaron a sedimentar durante 2 horas (muestra de agua decantada). A las 4 muestras (2 muestras de agua agitada y 2 muestras de agua decantada) se les determinaron los siguientes parámetros: pH, DBO, SS, G y A (grasas y aceites), N (Nitrógeno amoniacal) y P (fosfatos). En la tabla 7, se presentan los métodos utilizados para la determinación de los parámetros:

Tabla 7. Métodos para análisis de muestras.

PARAMETRO	METODO
T ambiente	Termométrico
T agua	Termométrico
pH	Peachímetro o potenciómetro
DBO 5	Método título métrico Winkler
SS	gravimétrico
G y A	Gravimétrico y Solvente – cloroformo
N	Título-métrico – ácido bórico
P	Colorimétrico – Cloruro estagnoso

Fuente: Laboratorio de Aguas Universidad Surcolombiana, 2009.

2.2.3 Prueba de sedimentación del efluente

Las pruebas se realizaron en el Laboratorio de Construcciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Surcolombiana, en un recipiente de vidrio ($e = 5$ mm) en forma de prisma rectangular, de largo ($L = 35$ cm), ancho ($a = 25$ cm) y altura ($h = 23$ cm). (Ver figura 5). Se tomaron datos cada 15 minutos durante 4 horas y un dato luego de 24 horas, de la altura de la parte turbia (h_t) del agua, hasta que h_t presento un valor constante, utilizando como método la observación directa del color. (Ver figura 6). Para las pruebas, se agitó el material y se lleno el recipiente hasta una altura $h_a = 20$ cm. (Ver figura 6).

La primera prueba se realizó el día 11 de abril de 2009, con aguas residuales provenientes de la porqueriza de la Finca Canagueros y la segunda, el día 8 de mayo de 2009, con una mezcla de 3 Kg de concentrado para cerdos disueltos en 20 litros de agua.

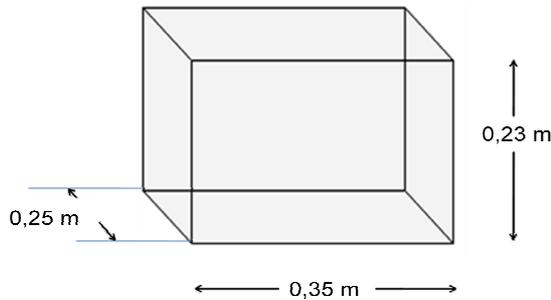


Figura 5. Recipiente para ensayo de sedimentación

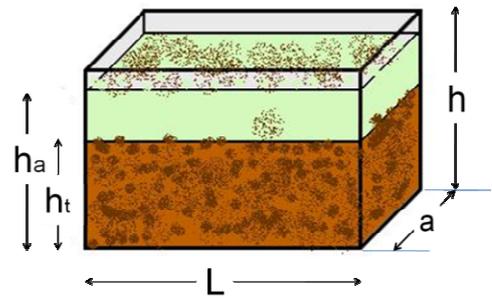


Figura 6. Ensayo de sedimentación

2.2.4 Prueba tiempo de secado del concentrado

- **Objetivo de la prueba:** Determinar mediante dos tratamientos (Concentrado escurrido y sin escurrir), el tiempo de secado de 2 kilos de concentrado para cerdos diluidos en 2 litros de agua, sobre diferentes superficies y con diferentes contenidos de agua.
- **Localización:** Las pruebas se realizaron el día 14 de Junio de 2009, en un pasillo del edificio de Ingeniería de la Universidad Surcolombiana, con exposición directa de sol.
- **Tratamientos:** T_1 escurrido: a la muestra se le retiró el exceso de agua mediante escurrimiento (Ver anexo C). T_2 Sin escurrir: Muestra del concentrado diluido en agua.
- **Método:** Las pruebas se iniciaron a las 8:00 am, colocando las muestras con un espesor de 3 cm, sobre diferentes superficies como aparecen en la tabla 8. Cada 30 minutos se observaba y palpaba el concentrado, hasta encontrarse seco. La temperatura ambiente promedio durante el día fue de 28 °C.

Tabla 8. Superficies utilizadas para la prueba de secado del concentrado.

SUPERFICIE	ESCURRIDA	SIN ESCURRIR
Piso en concreto	X	X
Piso en concreto y secador parabólico	X	X
Bandeja Plástica Perforada		X
Plástico	X	
Recipiente de vidrio		X

Fuente: Artunduaga, Gordillo, 2009

2.2.5 Volumen de agua de lavado

La porqueriza se lava 2 veces al día, de forma manual, mediante el uso de mangueras, utilizando en promedio 2,5 L/m². A demás, para el lavado de los canales de desagüe, se utilizan 80 L/lavada.

2.2.6 Topografía

Con Estación Total, se realizó planimetría y altimetría de la zona donde está proyectado construir el sistema de tratamiento de aguas residuales.

2.3 TRABAJO DE OFICINA

2.3.1 Revisión de literatura

Se revisaron diferentes tipos de documentos: informes, seminarios, tesis de grado, artículos y páginas Web, referentes al diseño de sistemas para el tratamiento de aguas residuales de la explotación porcina y a la utilización integral de los residuos sólidos y líquidos.

2.4. DISEÑO

2.4.1 Información básica

De acuerdo a lo estipulado en el reglamento para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, RAS 2000.

2.4.2 Diseño conceptual

Se realizó bajo el concepto de sistema integrado sostenible que contempla tratamiento, reuso y producción y contiene: esquema general del sistema, diagrama de niveles de tratamiento, diagrama de unidades, diagrama de

procesos, eficiencias teóricas del sistema, y un diagrama de subproductos; de acuerdo a la metodología desarrollada en el curso de Saneamiento Rural del Programa de Ingeniería Agrícola de la Universidad Surcolombiana.

Para el cálculo de las eficiencias teóricas en el sedimentador, se utilizaron los datos obtenidos del laboratorio (agua agitada y agua decantada); y para las demás unidades, los datos obtenidos de la literatura.

2.4.3 Diseño físico

Se realizó de acuerdo a lo estipulado en el RAS 2000 y contempla el dimensionamiento de cada una de las unidades que conforman el sistema, aspectos constructivos, planos y presupuesto.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 INFORMACION BASICA

3.1.1 Porqueriza, Finca Canagueros

En la tabla 9, aparecen las áreas de los diferentes cubículos de la porqueriza, finca Canagueros. (Ver plano 1).

Tabla 9. Áreas de los cubículos. Porqueriza finca Canagueros.

Área de la porqueriza	Cocheras	Gestación	2 Cubículos	40 m ²
		Parideras	2 Cubículos	40 m ²
		Levante	4 Cubículos	80 m ²
		Ceba	8 Cubículos	160 m ²
	SUBTOTAL		16 cubículos	320 m ²
	Pasillos			70 m ²
TOTAL			390 m ²	

Fuente: Artunduaga, Gordillo, 2009

La tabla 10, muestra la clasificación de los cerdos según las etapas de desarrollo, en la finca Canagueros:

Tabla 10. Clasificación de los cerdos en la finca Canagueros

ETAPA	PESO(Kg)
Destete	0 a 6
Pre-inicio	6 a 12
Maxi-lechón	12 a 30
Levante	30 a 60
Engorde o Ceba	60 en adelante

Fuente: Artunduaga, Gordillo, 2009

La porqueriza alberga a 400 cerdos distribuidos, como aparece en la tabla 11.

Tabla 11. Tamaño de la piara, porqueriza finca Canagueros

CLASIFICACION	CANTIDAD
Padrón	1
CERDAS GESTANTES	25
Destete, Pre-inicio y Maxi-lechón	150
Levante	200
Ceba	24
TOTAL	400

Fuente: Artunduaga, Gordillo, 2009

La tabla 12, presenta los pesos de los cerdos, según las etapas de desarrollo:

Tabla 12. Peso de los cerdos, Finca Canagueros

CLASIFICACION	CANTIDAD	RANGO PESO (Kg)	PESO PROMEDIO (Kg)	PESO TOTAL (KG)
padrón	1	80 - 100	85	85
Destete, pre, maxi	150	0 - 30	20	3000
levante	200	30 - 60	50	10000
Gestación y parideras	25	80 - 110	100	2500
Engorde o ceba	24	Mayores a 60	80	1920
TOTAL			43,75	17505

Fuente: Artunduaga, Gordillo, 2009

3.1.2 Aspectos constructivos

La estructura de la porqueriza está construida en guadua, techo de zinc, muros divisorios de los cubículos en ladrillo pañetado y piso en concreto rustico.

3.1.3 Caudal de aguas residuales

Se calculó mediante la siguiente expresión:

$$Q_{AR} = Q_L + Q_E$$

✚ Caudal de aguas de lavado (Q_L)

$$Q_L = Q + Q_s$$

Donde:

Q = Caudal para el lavado de las cocheras

Q_s = Caudal para el lavado de los canales de desagüe

$$Q = (\text{caudal /m}^2) (\text{área de los cubículos}) (\text{número de lavadas/día})$$

$$Q = (2,5 \text{ l/m}^2) (320\text{m}^2) (2 \text{ lavadas/día})$$

$$Q = 1600 \text{ L/día}$$

Q_s = (caudal para lavado de canales) (número de lavadas/día)

$$Q_s = (80\text{L/lavada}) (2 \text{ lavadas/día})$$

$$Q_s = 160 \text{ L/día}$$

Entonces

$$QL = (1600 + 160)\text{L/día}$$

$$QL = 1760\text{L /día}$$

✚ Caudal por Excretas (Q_E)

$$Q_E = W_E$$

Donde

W_E = peso de las excretas

Criterios:

- Peso de las excretas = 6.17Kg/100Kg P.V. – día. (Pérez, 1998).
- 1 Kilogramo de estiércol = 1 Litro de estiércol

W_E = (peso total de los cerdos) (peso de excretas/cerdo)

$$W_E = 17505 \text{ Kg} * 6.17 \text{ Kg/100Kg P.V. – día}$$

$$W_E = 1080.06 \text{ Kg/día}$$

$$Q_E = 1080.06 \text{ L/día}$$

✚ Caudal de aguas residuales (Q_{AR}):

$$Q_{AR} = (1760 + 1080.06) \text{ Litros/día}$$

$$Q_{AR} = 2840 \text{ L/día}$$

3.1. 4 Caracterización de las aguas residuales

La tabla 13, muestra la caracterización del agua residual proveniente del lavado de la porqueriza, finca Canagueros.

Tabla 13. Caracterización del Agua Residual porcícola, finca Canagueros.

PARAMETRO	UNIDADES	RESULTADO Nº 0025	RESULTADO Nº 0026
Temperatura ambiente	°C	30	30
Temperatura muestra	°C	22	22
pH	unidades	6.7	6.8
DBO5	mg/L O ₂	3250	2820
Grasas y aceites	mg/L	28.2	6.9
Sólidos Suspendidos	mg/L	8750	1960
Nitrógeno Amoniacal	mg/L NH ₃ N	258	149
Fosfatos	mg/L PO ₄	1020	440
OBSERVACIONES: Muestra Nº 0025 corresponde a la muestra de agua agitada. Muestra Nº 0026 corresponde a la muestra de agua decantada.			

Fuente: laboratorio de Aguas Universidad Surcolombiana, 2009

3.1.5 Prueba de sedimentación

La prueba de sedimentación Nº 1 (aguas residual proveniente de la porqueriza), dio como resultado, un tiempo de sedimentación de 2 horas y 30 minutos del concentrado que se puede recuperar y una altura $h = 5$ cm medidos a partir del fondo. (Ver tabla 14 y figuras 7 y 8). La prueba de sedimentación Nº 2 (Concentrado disuelto en agua), dio como resultado, un tiempo de sedimentación de 1 horas y 30 minutos y una altura $h = 7$ cm medidos a partir del fondo. (Ver tabla 28, Anexo B).

La tabla 27 del anexo B, presenta los resultados y las observaciones del ensayo Nº 1, y un resumen de estos resultados, aparece en la tabla 14.

La tabla 28 del anexo B, presenta los resultados y las observaciones del ensayo N°2.

Para los cálculos del sedimentador, se tendrán en cuenta los resultados del ensayo N°1, debido a que el TRH = 2.5 horas fue mayor al TRH = 1.5 horas de la prueba N° 2. De igual forma, se selecciono $h = 5$ cm como altura del concentrado sedimentado (ver figura 8).

Tabla 14. Prueba de sedimentación con aguas residuales de la porqueriza, Finca Canagueros.

TIEMPO (MINUTOS)	SEDIMENTACIÓN h_t (cm)
Inicio	00.00
15	20.00
30	19,60
45	18.00
60	16.00
75	15,70
90	11,80
105	10,70
120	8,80
135	7.00
150	5.00
165	5.00
180	5,10
195	5.00

Fuente: Artunduaga, Gordillo, 2009

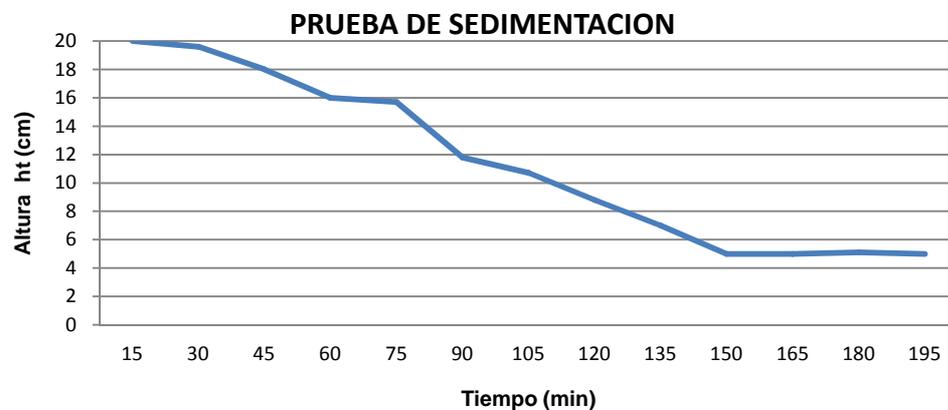


Figura 7. Resultados prueba sedimentación



Figura 8. Altura del concentrado sedimentado

3.1.6 Prueba tiempo de secado del concentrado

En la tabla 15, se presentan los resultados del tiempo de secado; la superficie con menor T_s fue el piso en concreto y secador parabólico, con 5 horas 15 minutos en el tratamiento escurrido y 8 h en el tratamiento sin escurrir. La tabla 29 del anexo C, presenta los resultados y las observaciones de la prueba.

Tabla 15. Prueba de secado del concentrado recuperado

SUPERFICIE	TRATAMIENTO	(T_s)
Piso en concreto	<i>Escurrida</i>	7.5 h
	Sin escurrir	9.5 h
Piso en concreto y secador parabólico	<i>Escurrida</i>	5 h 15 min
	Sin escurrir	8 h
Bandeja Plástica Perforada	Sin escurrir	12 h
Plástico	<i>Escurrida</i>	11.5 h
Recipiente de vidrio	Sin escurrir	36 h

Fuente: Artunduaga, Gordillo, 2009

Para los cálculos del secador parabólico, se tendrán en cuenta los resultados de piso en concreto y secador parabólico, con el tratamiento sin escurrir ($T_s = 8$ h).

3.2 DISEÑO

3.2.1 DISEÑO CONCEPTUAL

3.2.1.1 Propuesta de manejo de los residuos de la porqueriza.

En la figura 9, se presenta la propuesta para el manejo de los residuos de la explotación porcina de la finca Canaguaro, la cual fue elaborada dentro del concepto de sistema integrado sostenible, que contempla tratamiento, reuso y producción. Como sistema de tratamiento se propone: como primera unidad un sedimentador, cuya función es separar de las aguas residuales parte del concentrado que se encuentra en forma sólida. Para el tratamiento de los residuos líquidos provenientes del sedimentador: un biodigestor y una alberca biológica. Para reuso y producción: el efluente final del sistema de tratamiento será utilizado para riego de pastos; el concentrado recuperado del

sedimentador y después de deshidratado, será utilizado como alimento para bovinos; el biogás para calentamiento de los cubículos de cría; los lodos provenientes del biodigestor y de la alberca biológica después de compostados, como abono para los pastos.

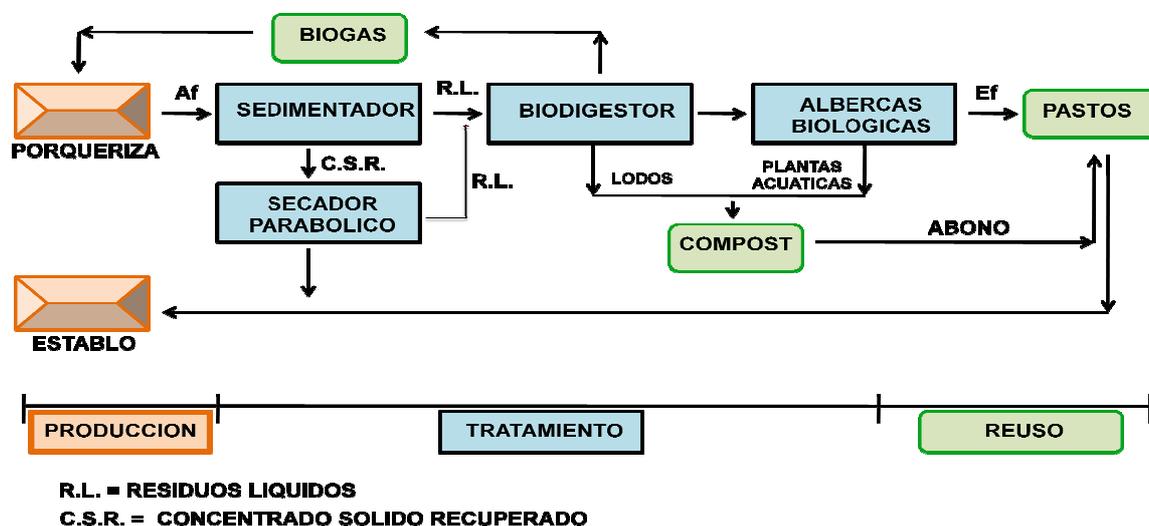


Figura 9. Diagrama Sistema Integrado Sostenible para manejo de residuos de la porqueriza.

3.2.1.2 Niveles de tratamiento del sistema de aguas residuales

La figura 10, presenta los niveles de tratamiento que se espera ocurra en el sistema propuesto. Para el tratamiento primario se propone como unidad un

tanque sedimentador, para el secundario un Biodigestor y para el terciario una alberca biológica.



Figura 10. Diagrama niveles de tratamiento del sistema

3.2.1.3 Unidades y procesos del sistema de tratamiento de aguas residuales

En la figura 11, se muestra el diagrama de las diferentes unidades que conforman el sistema de tratamiento de las aguas residuales y los procesos que se esperan de cada una. En forma descendente se encuentran las unidades del sistema, el proceso principal que se da en cada unidad, principal contaminante que se remueve y finalmente contaminantes secundarios removidos.



Figura 11. Diagrama Unidades y procesos del sistema de tratamiento

3.2.1.4 Esquema general del sistema

La figura 12, muestra la disposición de las unidades del sistema de tratamiento de las aguas residuales, el cual servirá de base para el diseño físico del sistema.

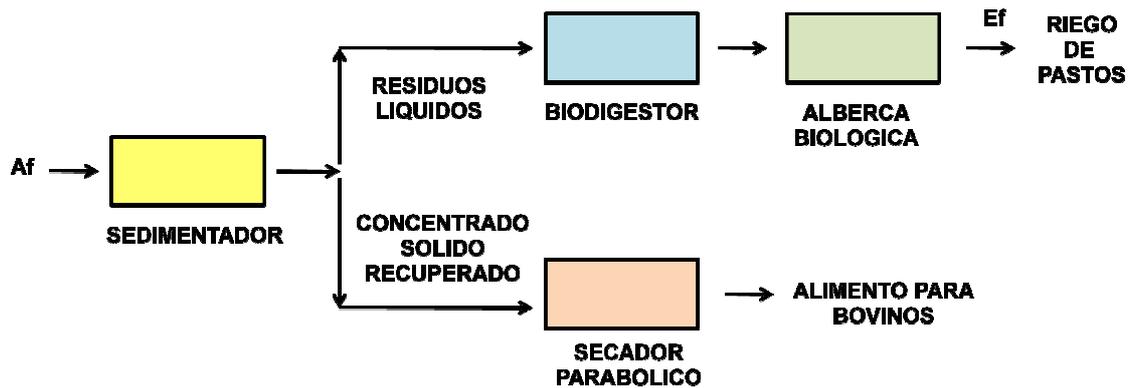


Figura 12. Diagrama general del sistema de tratamiento de aguas residuales.

3.2.1.5 Eficiencia de remoción de contaminantes. Prueba N° 1.

La tabla 16, presenta los resultados de remoción de contaminantes obtenidos en la prueba N° 1, de acuerdo a los resultados de los análisis de laboratorio. (Ver anexo A).

Tabla 16. Eficiencias de remoción de contaminantes en la prueba N° 1 .

PARAMETRO	A.R. agitada	A.R. sedimentada	% REMOCION
DBO (mg/L)	3250	2820	13
SS (mg/L)	8750	1960	78
G y A (mg/L)	28.2	6.9	75
N (mg/L)	258	149	42
P (mg/L)	1020	440	57

Fuente: Artunduaga, Gordillo, 2009

En el sedimentador, se esperan remociones similares a las logradas en la prueba N° 1, DBO = 13%, SS = 78%, G y A = 75%, N = 42% y P = 57%. Según estos resultados, el sedimentador será muy eficiente para la remoción de SS, G y A, N y P, y poco eficiente para DBO.

3.2.1.6 Remociones teóricas de las unidades del sistema

La tabla 17, muestra los cálculos de las remociones teóricas en cada una de las unidades del sistema.

Tabla 17. Remoción teórica de las unidades del sistema.

PARÁMETRO	DBO (mg/l)			SS (mg/l)			G y A (mg/l)			N (mg/L)			P (mg/L)			CF (UFC/100 ml)		
	Af	%	Ef	Af	%	Ef	Af	%	Ef	Af	%	Ef	Af	%	Ef	Af	%	Ef
Sedimentador	3250	13	2820	8750	78	1960	28,2	75	6,9	258	42	149	1020	57	440	10 ⁸	0	10 ⁸
Biodigestor	2820	60	1128	1960	60	784	6,9	40	4,14	149	0	149	440	0	440	10 ⁸	99	10 ⁶
Alberca biológica	1128	50	564	784	30	549	4,14	20	3,31	149	50	74,5	440	50	220	10 ⁶	90	10 ⁵

Fuente: Artunduaga, Gordillo, 2009

3.2.1.7 Eficiencia teórica del sistema

En la tabla 18, aparece en forma resumida los cálculos de las eficiencias esperadas por el sistema de tratamiento.

Tabla 18. Eficiencia teórica de remoción del sistema.

PARÁMETRO	(Af)	(Ef)	% REMOCIÓN
DBO (mg/L)	3250	564	83
SS (mg/L)	8750	549	94
G y A (mg/l)	28,2	3,31	88
N (mg/L)	258	74,5	71
P (mg/L)	1020	220	78
CF (UFC/100 ml)	10 ⁸	10 ³	99,99

Fuente: Artunduaga, Gordillo, 2009

3.2.1.8 Manejo del concentrado recuperado

La figura 13, muestra la propuesta para el manejo de la parte del concentrado que se espera recuperar de las aguas residuales. La unidad propuesta es un secador parabólico, cuyo objetivo es deshidratar y eliminar agentes patógenos.



Figura 13. Diagrama Manejo de concentrado recuperado

3.2.1.9 Unidades y procesos del sistema de manejo del concentrado recuperado.

La figura 14, presenta el diagrama de unidades y procesos del sistema de manejo del concentrado recuperado. Se describe en primera instancia la unidad del sistema, luego el proceso principal que se da en la unidad, seguidamente el principal contaminante que se remueve.

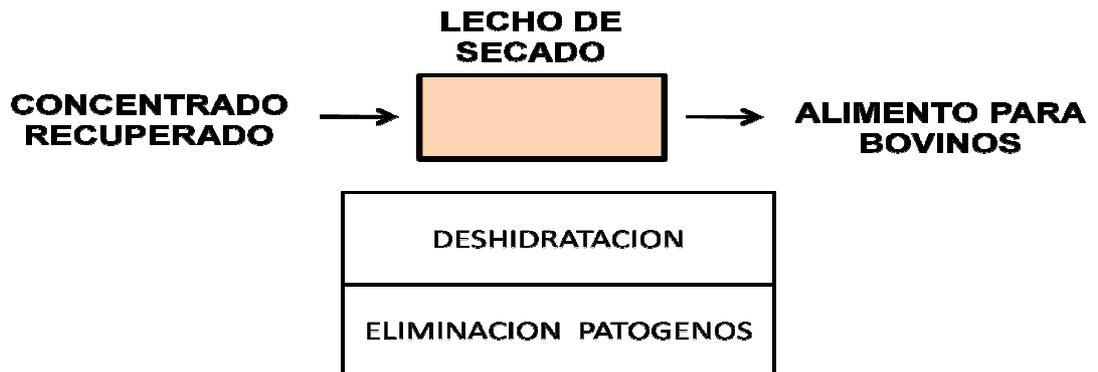


Figura 14. Diagrama Unidades y procesos del sistema de manejo del concentrado recuperado.

3.2.1.10 Diagrama de subproductos

La figura 15, muestra el diagrama de la disposición de los subproductos del sistema, de forma descendente aparecen las unidades, luego el subproducto que se deriva de cada una de ellas y su utilización final.

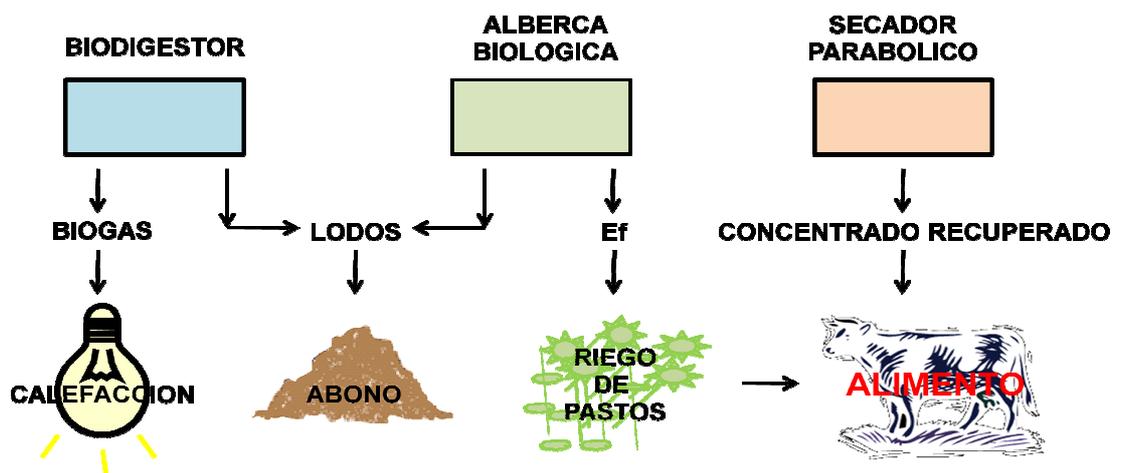


Figura 15. Disposición de Subproductos del sistema

3.3 DISEÑO FISICO

3.3.1 Tanque de Sedimentación

Este tanque se diseña con el fin de recibir las aguas residuales de la porqueriza y recuperar por decantación parte del concentrado que se encuentra en forma sólida. El efluente continuará en el sistema de tratamiento de aguas residuales, y el concentrado se reutilizara como alimento de ganado bovino.

Parámetro de diseño: Volumen de aguas residuales de una lavada.

Criterios

- El sedimentador no es de tipo continuo sino tipo Bach (Por tandas).
- Tiempo de permanencia en el sedimentador $T = 2.5$ horas. (según los resultados obtenidos en la prueba de sedimentación N° 1).
- Profundidad útil $P_u = 50$ cm.

Volumen del sedimentador (V):

$$V = 1420 \text{ L} = 1.42 \text{ m}^3$$

Ahora:

$$V = \text{Área}(A) * \text{profundidad útil } (P_u)$$

$$A = \frac{V}{P_u}$$

$$A = \frac{1.42 \text{ m}^3}{0.5 \text{ m}} = 2.84 \text{ m}^2$$

$$A = l^2 \quad l = (2.84 \text{ m}^2)^{1/2}$$

$$l = 1.70 \text{ m}$$

La tabla 19, muestra las dimensiones del sedimentador. (Ver figura 16)

Tabla 19. Dimensiones del tanque de sedimentación.

Dimensiones	Valores (m)
Ancho	1.70
Largo (l)	1.70
Profundidad	0.50
Borde Libre	0.10

Fuente: Artunduaga, Gordillo, 2009

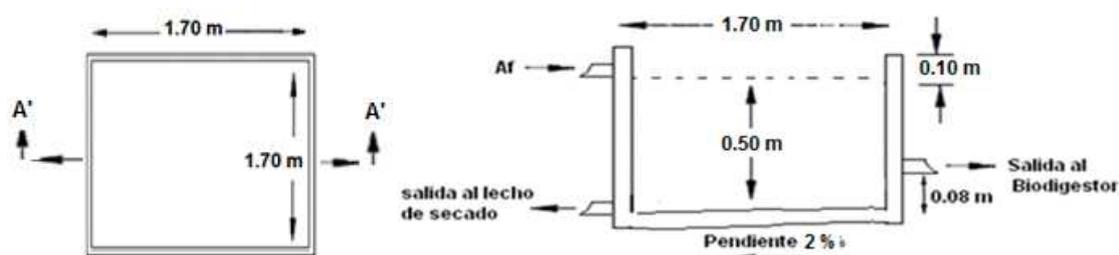


Figura 16. Vista en Planta y Corte A' del tanque de sedimentación

3.3.2 Tratamiento de aguas residuales.

Para el tratamiento de las aguas residuales provenientes del sedimentador, se propone un biodigestor de estructura flexible y una alberca biológica con plantas acuáticas (buchón de agua).

3.3.2.1 Diseño del Biodigestor

El biodigestor se diseña con el fin de remover materia orgánica por vía anaerobia y microorganismos patógenos.

Parámetro de diseño: Tiempo de Retención Hidráulica (TRH).

Criterios:

- La forma: Circular, con diámetro de 1.50 m y longitudes entre 8 y 12 m.
- Volumen para el líquido (V_{Liq}) = 70%, Volumen para el gas (V_G) = 30%, del Volumen total (V_T) del biodigestor.

Esquema general de la estructura del biodigestor: la estructura está conformada por una caja de entrada, una caja de salida y el Biodigestor. (Ver figura 17).

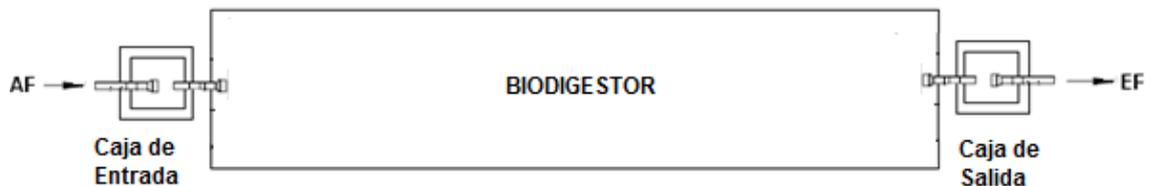


Figura 17. Esquema general de la estructura del biodigestor

Dimensionamiento del Biodigestor

- Determinación del caudal:

Al biodigestor llega el 84% del volumen de las aguas residuales del sedimentador

$$Q = 1.42 \text{ m}^3 * 0.84 * 2 \text{ lavadas/día}$$

$$Q = 2.38 \text{ m}^3 / \text{ día}$$

- Determinación del TRH:

Para Temperatura promedio de la zona = 25 °C, se adoptó un TRH = 20 días.

- Determinación del volumen del líquido (V_{Liq}):

$$V_{Liq} = Q * TRH$$

$$V_{Liq} = 2.38 \text{ m}^3/\text{día} * 20 \text{ días}$$

$$V_{Liq} = 47.6 \text{ m}^3$$

- Determinación del volumen del biodigestor:

$$V_{Liq} = V_T * 70\%$$

$$V_T = \frac{V_{Liq}}{0.70}$$

$$V_T = \frac{47.6 \text{ m}^3}{0.70} = 68 \text{ m}^3$$

- Determinación del Volumen del gas (V_G)

$$V_G = V_T - V_{Liq} = 20.40 \text{ m}^3.$$

- Determinación de la longitud del biodigestor:

$$V = \pi * r^2 * L$$

$$L = \frac{V}{\pi * r^2}$$

$$L = \frac{68 \text{ m}^3}{\pi * (0.75 \text{ m})^2} = 38.64 \text{ m}$$

- Determinación del número de biodigestores

$$\text{No biodigestores} = L / L \text{ de un biodigestor}$$

L de un biodigestor = 12 m

No biodigestores = 38.64 m / 12 m = 3.2

Se construirán 3 Biodigestores de L = 12 m.

La tabla 20, muestra las dimensiones y el volumen de uno de los biodigestores. (Ver figuras 18 y 19).

Tabla 20. Dimensiones y volumen de los biodigestores

DIMENSIONES Y VOLUMEN	UNIDADES	VALORES
Diámetro	m	1.5
Longitud	m	10
Volumen total	m ³	17
Volumen para el líquido	m ³	11.9
Volumen para el gas	m ³	5.1

Fuente: Artunduaga, Gordillo, 2009

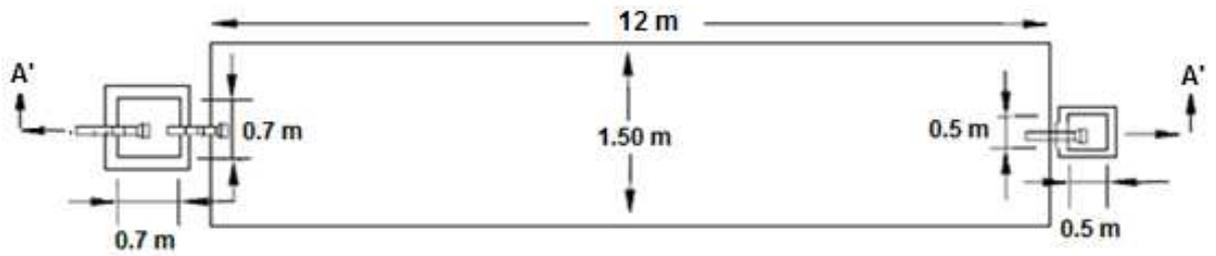


Figura 18. Vista en planta del Biodigestor

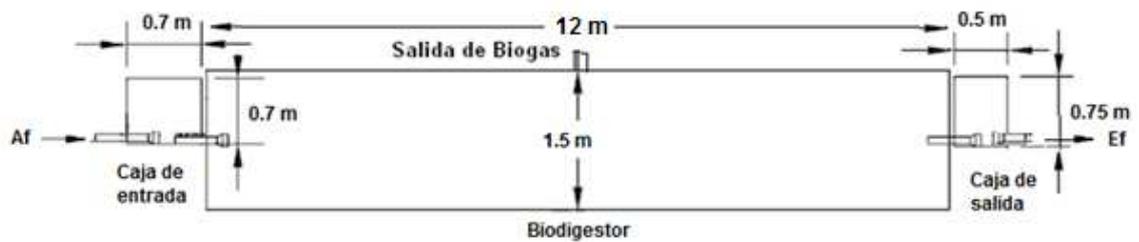


Figura 19. Corte A' del Biodigestor

Dimensionamiento Cajas de entrada y salida del biodigestor

El objetivo de estas cajas, es mantener el nivel del líquido dentro del biodigestor. La tabla 21, presenta las dimensiones de las cajas de entrada y salida del biodigestor. (Ver figuras 18 y 19).

Tabla 21. Dimensiones cajas de entrada y salida del biodigestor

DIMENSIONES	VALORES (m) CAJA DE ENTRADA	VALORES (m) CAJA DE SALIDA
Largo	0.7	0.5
Ancho	0.7	0.5
Profundidad	0.7	0.75

Fuente: Artunduaga, Gordillo, 2009

3.3.2.2 Diseño Albercas biológicas

Estas albercas biológicas se diseñan con el fin de remover remanentes de materia orgánica, nutrientes (N y P) y microorganismos patógenos.

Parámetro de diseño: Carga Hidráulica volumétrica (TRH).

Criterios:

- Profundidad: longitud de las raíces de las plantas acuáticas.

- TRH = a la de un tanque séptico.
- Relación largo (L) ancho(a), 2:1
- La alberca se dividirá en dos compartimientos.

Esquema general:

La figura 20, presenta el esquema general de la alberca biológica.

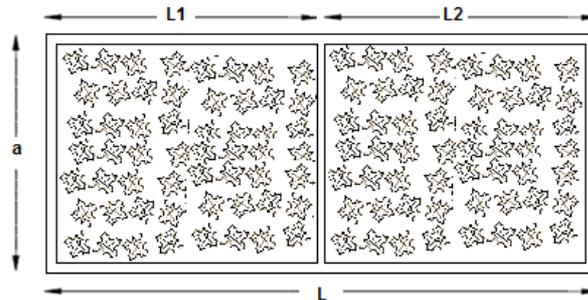


Figura 20. Esquema general de la alberca biológica

Dimensionamiento

Planta acuática: Buchón de agua

Longitud de las raíces del buchón de agua = 0.80 m.

Profundidad h = 0.80 m.

TRH = 1 día

- Determinación del volumen (V).

$$V = Q * TRH$$

$$V = 2.38 \text{ m}^3/\text{día} * 1 \text{ día}$$

$$V = 2.38 \text{ m}^3$$

- Determinación del área superficial (A)

$$V = A * h$$

$$A = V / h$$

$$A = 2.38 \text{ m}^3 / 0.80 \text{ m}$$

$$A = 2.98 \text{ m}^2$$

- Determinación de las dimensiones

$$A = L * a$$

$$L = 2a$$

$$A = 2a^2$$

$$a = \left(\frac{A}{2}\right)^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{2.98m^2}{2}\right)^{1/2} = 1.22 m$$

$$L = 2.42 m$$

La tabla 22, presenta las dimensiones ajustadas de la alberca biológica. (Ver figura 21).

Tabla 22. Dimensiones de la alberca biológica

Dimensiones	Valores (m)
Ancho (a)	1.20
Largo $L_1 = L_2$	1.25
Profundidad (h)	1.0

Fuente: Artunduaga, Gordillo, 2009

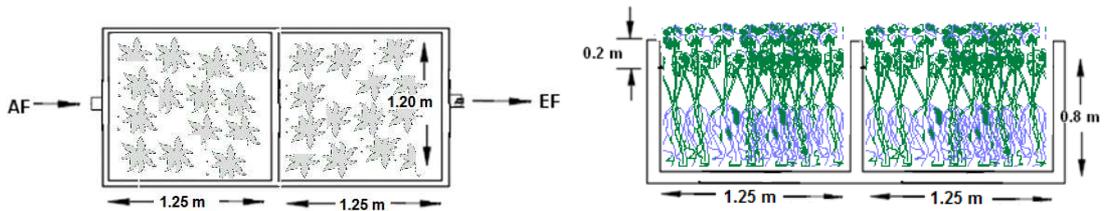


Figura 21. Vista en Planta y sección transversal de alberca biológica

3.3.3 Dimensionamiento de la estructura de secado

Para el manejo del concentrado recuperado en el sedimentador, se diseñó un secador parabólico tipo invernadero.

3.3.3.1 Tanque de secado.

En la figura 22, aparece el esquema general del tanque de secado, el cual presenta tres compartimientos que permitirán el manejo del concentrado por lavada. (Ver figura 22).

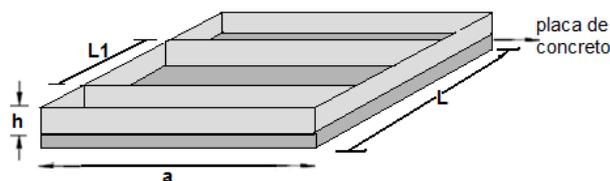


Figura 22. Esquema general del tanque de secado

Parámetro de diseño: Volumen.

Criterios:

- Espesor máximo del concentrado dentro del secador (h) = 5 cm.
- Relación largo (L) ancho(a), 2:1
- Tiempo de secado $T_s = 1$ día.

Dimensionamiento

Al tanque de secado llega el 16 % del volumen de las aguas residuales del sedimentador.

$$Q = 1.42 \text{ m}^3 * 0.16 * 2 \text{ lavadas/día}$$

$$Q = 0.45 \text{ m}^3 / \text{ día}$$

$$V = L * a * h$$

$$0.45 \text{ m}^3 = 2a * a * 0.05 \text{ m}$$

$$9 \text{ m}^2 = 2a^2$$

$$a = (9\text{m}^2 / 2)^{1/2}$$

$$a = 2.12 \text{ m}$$

La tabla 23, presenta las dimensiones ajustadas del tanque de secado. (Ver figura 22).

Tabla 23. Dimensiones del tanque de secado

Dimensiones	Valores (m)
Ancho	3.0
Altura	0.10
Largo	5.0
L1	1.6

Fuente: Artunduaga, Gordillo, 2009

3.3.3.2 Secador parabólico

La figura 23, presenta el esquema general de la estructura del secador parabólico tipo invernadero.

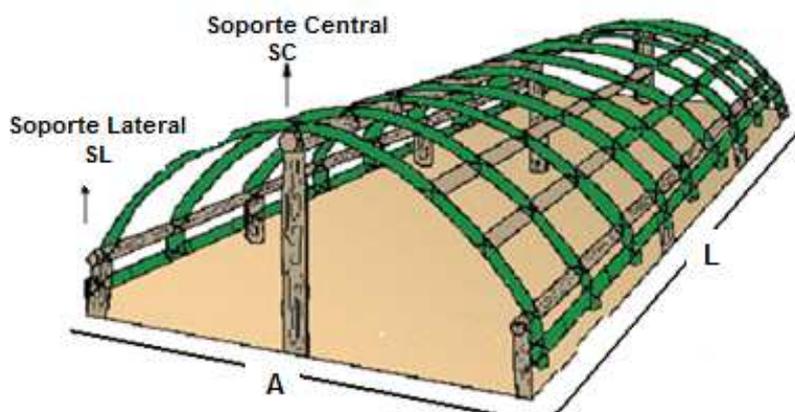


Figura 23. Esquema general del secador parabólico

En la tabla 24, se presentan las dimensiones del secador parabólico. (Ver figura 23).

Tabla 24. Dimensiones del secador parabólico

Dimensiones	Valores (m)
Ancho (A)	3.0
Largo (L)	5.0
Altura SL	1.2
Altura SC	2.0

Fuente Artunduaga, Gordillo, 2009

3.4 SUBPRODUCTOS

Se presenta la producción teórica de los subproductos que se esperan obtener:

3.4.1 Concentrado a recuperar

Criterios:

- Dos tercios de los alimentos suministrados a los cerdos se convierten en desechos, de los cuales, el 60% es concentrado que se puede recuperar.

Alimento suministrado a los cerdos: 1 kg/día por cerdo = 400 kg/día

$$2/3 * 400 \text{ Kg/día} = 267 \text{ Kg/día}$$

$$267 \text{ Kg/día} * 0.60 = 160.2 \text{ Kg/día}$$

3.4.2 Producción de Biogás (PB)**Criterios:**

- Producción de materia orgánica MS = 0.75 kg por 1 UPA
- 1 m³ de biogás = 0.1 galón de diesel.

$$\text{No UPA} = (44 \text{ kg/cerdo} * 400 \text{ cerdos}) / 100 \text{ KPV}$$

$$\text{No UPA} = 176$$

Ahora

$$\text{MS} = 0.75 \text{ Kg} * 176 = 132 \text{ kg}$$

Según la tabla 3, la tasa de producción de biogás es 0.80 m³/kg de MS diariamente, entonces:

$$\text{PB} = 0.80 \text{ m}^3/\text{kg} - \text{día} * 132 \text{ Kg} = 106 \text{ m}^3/\text{día}$$

Entonces 106 m³ / día de biogás = 10.6 galones de diesel / día.

La tabla No 25, muestra las dimensiones de cada una de las unidades que conforman el sistema.

Tabla 25. Dimensionamiento de las Unidades del sistema.

UNIDAD	PARAMETRO	MEDIDA (m)
Tanque Sedimentación	Longitud	1.70
	Ancho	1.70
	Profundidad	0.50
	Borde libre	0.10
3 Biodigestores de	Diámetro	1.50
	Longitud	12.0
Caja Entrada Biodigestor	Longitud	0.70
	Ancho	0.70
	Profundidad	0.70
Caja Salida Biodigestor	Longitud	0.50
	Ancho	0.50
	Profundidad	0.75
2 Albercas biológicas de	Longitud	1.25
	Ancho	1.20
	Profundidad	0.80
	Borde libre	0.20
Tanque de secado	Longitud	5.00
	Ancho	3.00
	Profundidad	0.10
Secador parabólico	Longitud	5.00
	Ancho	3.00
	Altura Central	2.00
	Altura lateral	1.20

Fuente: Artunduaga, Gordillo, 2009

3.5 ASPECTOS CONSTRUCTIVOS

Las características constructivas de cada uno de los elementos del sistema se determinaron teniendo en cuenta las propiedades estructurales y los costos.

Conducción

Tubería de recolección PVC sanitario de 6" y conducción en PVC sanitario de 4".

Tanque de sedimentación

Placa del fondo en concreto de 3000 PSI, $e = 15$ cm, reforzado con varilla de $3/8$ " cada 12.5 cm en ambos sentidos, muros fundidos en concreto de 3000 PSI $e = 10$ cm, reforzado con varillas de $1/2$ " y $3/8$ " en ambos sentidos cada 10 cm, esmaltado e impermeabilizado en su interior y tapa metálica. (Ver plano 3).

Biodigestor

Cajas de entrada y salida: fundidas en concreto de 3000 PSI $e = 10$ cm, reforzado con varilla de $3/8$ " cada 12.5 cm en ambos sentidos, debidamente esmaltadas e impermeabilizadas en su interior y tapa metálica. (Ver plano 3).

El estómago del Biodigestor será en Geomembrana H.D.P.E. (polietileno de alta densidad).

Albercas biológicas

Placa del fondo fundida en concreto de 3000 PSI reforzado con varilla de $3/8$ " cada 12.5 cm en ambos sentidos $e = 15$ cm, muros en concreto de 3000 PSI $e = 10$ cm, reforzado con varillas de $1/2$ " y $3/8$ " en ambos sentidos cada 12.5 cm, esmaltado e impermeabilizado en su interior y cimiento en concreto ciclópeo de 0.3 m x 0.4 m. de sección. (Ver planos 2 y 3).

Secador Parabólico

Tanque de secado: la placa se construirá en concreto de 3000 PSI $e = 20$ cm, reforzado con varilla de $1/2$ " cada 10 cm en ambos sentidos, subdivisiones en concreto de 3000 PSI. (Ver planos 2 y 3).

Secador parabólico tipo invernadero: Manta plástica AGROLENE, estructura en guadua.

3.6 OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Para que el sistema opere normalmente, y se conserven las unidades del sistema, hay que tener en cuenta las siguientes recomendaciones generales:

- 2.5 horas después del lavado de la porqueriza, operar las válvulas en el tanque de sedimentación, con el fin de separar el concentrado recuperado de las aguas residuales, y dar inicio al ciclo de tratamiento de cada uno de ellos.
- Diariamente realizar limpieza al tanque de sedimentación.
- Observar cada tres días el estado de las albercas biológicas, retirando el exceso de plantas acuáticas.
- Realizar limpieza al secador parabólico cada 1 ½ días.
- Constantemente revisar posibles perforaciones en el biodigestor y secador parabólico.
- Realizar chequeos trimestralmente del sistema de conducción de biogás.
- Anualmente, revisar minuciosamente filtraciones en las unidades y tuberías del sistema.
- Aislar los biodigestores, con el fin de evitar por contacto algún daño en su estructura.
- realizar retiro de malezas en todo el sistema cada tres meses.
- Anualmente realizar estudios al efluente del sistema, con el fin de conservar la eficiencia en el sistema.

3.6 PRESUPUESTO GENERAL

La Tabla 26, presenta el presupuesto general de construcción, con base en precios ajustados de junio de 2009.

Tabla 26. Presupuesto general

PRESUPUESTO DE OBRA					
ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL
1.0.	TANQUE DE SEDIMENTACION				
1.1.	Concreto de 3000 PSI	m3	0.77	\$ 381'000	\$ 294'704
1.2.	Varilla corrugada 1/2" (incluye amarre y armazón)	Kg	20.40	\$ 3'200	\$ 65'280
1.3.	Varilla corrugada 3/8" (incluye amarre y armazón)	Kg	16.80	\$ 3'200	\$ 53'760
2.0.	CAJA ENTRADA BIODIGESTOR				
2.1	Concreto de 3000 PSI	m3	0.25	\$ 381'000	\$ 93'345
2.2.	Varilla corrugada 3/8" (incluye amarre y armazón)	Kg	14.11	\$ 3'200	\$ 45'152
3.0.	CAJA SALIDA BIODIGESTOR				
3.1	Concreto de 3000 PSI	m3	0.18	\$ 381'000	\$ 66'675
3.2.	Varilla corrugada 3/8" (incluye amarre y armazón)	Kg	8.96	\$ 3'200	\$ 28'672
4.0.	ALBERCAS BIOLÓGICAS				
4.1.	Concreto de 3000 PSI	m3	1.31	\$ 381'000	\$ 499'110
4.2.	Varilla corrugada 1/2" (incluye amarre y armazón)	Kg	73.60	\$ 3'200	\$ 235'520
4.3.	Varilla corrugada 3/8" (incluye amarre y armazón)	Kg	46.20	\$ 3'200	\$ 147'840
5.0.	TANQUE DE SECADO				
5.1.	Concreto de 3000 PSI	m3	3.2	\$ 381'000	\$ 1'203'960
5.2.	Varilla corrugada 1/2" (incluye amarre y armazón)	Kg	112	\$ 3'200	\$ 358'400
6.0.	ACCESORIOS				
6.1.	Suministro e instalación Tubería PVC 6" sanitaria	ml	14	\$ 54'158	\$ 758'212
6.2.	Suministro e instalación Tubería PVC 4" sanitaria	ml	8	\$ 25'410	\$ 203'280
6.3.	Suministro e instalación Tubería PVC 3" sanitaria	ml	5	\$ 19.000	\$ 95.000
6.4.	Suministro e instalación Codo 90° PVC 6"	und	1	\$ 7'300	\$ 7'300
6.5.	Suministro e instalación Codo 90° PVC 4"	und	5	\$ 7'300	\$ 36'500
6.6.	Suministro e instalacion Codo 90° PVC 3"	und	3	\$ 35.000	\$ 105.000
6.7.	Suministro e instalacion válvula de bola 4"	und	1	\$ 125.000	\$ 125.000
6.8.	Suministro e instalacion válvula de bola 3"	und	3	\$ 86.000	\$ 258.000
6.9.	suministro e instalación tubos gress 8"	und	2	\$ 14'000	\$ 28'000
6.10	Tapa en lamina de alfajor con refuerzo en ángulo 0.50X0.50 m (incluye pintura anticorrosiva)	und	2	\$ 120'000	\$ 240'000
6.11	sistema captación de biogás (incluye accesorios)	Global	1	\$ 75'000	\$ 75'000
6.12	Suministro e instalación cruceta PVC 4"	und	2	\$ 28'000	\$ 56'000
6.13	Suministro e instalacion cruceta PVC 3"	und	1	\$ 33.000	\$ 33.000
6.14	Alambre	kg	50	\$ 3'468	\$ 173'400
6.15	Pañete 1:4 Impermeabilizado	m2	19	\$ 14'500	\$ 275'500
6.16	Suministro e instalación Geomembrana H.D.P.E	und	3	\$ 3'500'000	\$ 10'500'000
6.17	Plástico AGROLENE tipo invernadero	m2	60	\$ 1'500	\$ 90'000
6.18	Excavación Manual y Retiro de Material Sobrante	m3	20	\$ 15'000	\$ 300'000
TOTAL COSTOS DIRECTOS					\$ 16.674.810

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El diseño propuesto, es una alternativa de bajo costo, de fácil operación y mantenimiento, que puede dar solución al problema del manejo de residuos fincas productoras de cerdos, además los subproductos se pueden reutilizar, convirtiéndose en un modelo de producción sostenible y de conservación.

Las eficiencias teóricas de remoción de contaminantes son altas, superan el 80% en DBO, S.S, G y A y el 70% en N y P, lo cual evidencia la importancia del proyecto como una alternativa a la contaminación producida por las aguas residuales porcícolas.

El tanque de sedimentación es una estructura muy importante, pues se espera recuperar 402 gr/Kg de concentrado utilizado, además los porcentajes de remoción en SS = 78%, G y A = 75%, N = 42% y P = 57%, son considerables.

Del biodigestor, se espera que remueva el 60% de DBO, 60% de SS y el 40% de G y A, pero además, que produzca biogás eficiente como combustible, como para sustituir 10 galones de Diesel.

Las albercas Biológica presentan porcentajes de remoción en N y P del 50%, 90% en CF, por lo que son un buen complemento en sistemas de tratamiento de aguas residuales que incluyen biodigestores, ya que estos son ineficientes en la remoción de nutrientes.

El problema de contaminación causada por las excretas porcinas puede convertirse en una oportunidad, en la medida en que se valoren en su justa dimensión como fuentes contenedoras de energía, materia orgánica y nutrientes.

Seguir arrojando las excretas porcinas sin ningún control, implica no solo un deterioro del ambiente sino una pérdida de energía y nutrientes lo cual a la postre significa una pérdida de dinero.

En la relación beneficio - costo del sistema, deben considerarse los ingresos provenientes de los subproductos: alimento para animales, obtención de biogás, abono orgánico, entre otros.

El tratamiento de los residuos de una producción porcina es una obligación legal y moral, que implican un beneficio económico cuando estos son reciclados adecuadamente.

Como ingenieros agrícolas debemos Infundir y crear en los productores de la región, una conciencia por el medio ambiente y por el aprovechamiento de tan rica materia a lo que ellos llaman desechos.

BIBLIOGRAFIA

ARIAS, Cortes Abelino, 1998. Tasas retributivas para el control de la contaminación del agua en Colombia, Seminario Internacional. Contaminación y Reciclaje en la Producción Porcina Aspectos Legales, Técnicos y Económicos. Agosto 20. 27 – 33.

BARRIOS, Germán. Consulta Personal en Neiva Huila, el 10 de Abril de 2009,

BOTACHE, Carmen, y Otros, 2001. Diseño, construcción y evaluación de un biodigestor piloto en el municipio de la Plata - Huila, como sistema de tratamiento de aguas residuales en pequeñas explotaciones agropecuarias. 39 – 55.

CONDE, C. Andrea, y Otros, 2007. Sistemas para disposición de aguas residuales y residuos sólidos en pequeñas fincas. Saneamiento rural, Grupo semestre A de 2007. Unidades 1 y 3.

CHARÁ, Julián David, 1998. Potencial de las excretas porcinas para uso múltiple y los sistemas de descontaminación productiva. Contaminación y Reciclaje en la Producción Porcina Aspectos Legales, Técnicos y Económicos. Agosto 20. 49 – 57.

CHARRI, Jimeno. Consulta personal en Neiva Huila, el 12 de abril de 2009.

HERRERA C. Christian, PERALTA A. María, 1997. Valorización de las Excretas Porcinas.

VELASCO, Lilia Consuelo. M.V. Especialista en Mercadeo. Maestría en Economía Agraria. Gerente General de la Asociación Colombiana de Porcicultores - Fondo Nacional de La Porcicultura. Febrero 9 de 2009.

MEDINA, H. Paola, 2007. Manejo de los Residuos de la Explotación Porcina de la Institución Educativa El Tejar Municipio de Timaná – Huila. 22 – 56.

MORALES, C. A. 1985 Diseño y Construcción de Biodigestores. Beneficios Ambientales del Uso del Biodigestor: Utilización de Subproductos del café. Edición 2,95 - 99.

PÉREZ, E. Rosario, 1998 Porcicultura Intensiva y Medio Ambiente en México Situación Actual y Perspectiva. Contaminación y Reciclaje en la Producción Porcina Aspectos Legales, Técnicos y Económicos. Agosto 20. 1 – 15.

RAMÍREZ, H. G., 2005. Manejo de Excretas Porcinas, Sistemas Convencionales y Alternativos. Consultado el 07 marzo de 2009. <http://www.Porcicultura.Com> - artículos-manejo de excretas porcinas, sistemas convencionales y alternativos.

RODRÍGUEZ, M. Humberto. Consulta personal en Neiva Huila, el 15 de abril de 2009.

SALAZAR, G. Gerardo., 2005. Compendio de Tecnologías para el Manejo y Utilización de las Excretas de Granjas Porcícolas. CECEJ-INIFAP. Parte 2/3.

SANTANA, A., 1985. Diseño y Construcción de Biodigestores. Editorial tecnológica de Costa Rica. 2da edición. 20 – 23.

SARRIA, Patricia, 1998. Perspectivas de la Porcicultura Sostenible. Seminario Internacional. Contaminación y Reciclaje en la Producción Porcina Aspectos Legales, Técnicos y Económicos. Agosto 20. 69 – 76.

VIOLETA E. E., y Dimna E. A. H., 2001. Tratamiento de efluentes porcícolas en granjas de traspatio. Consultado el 07 marzo de 2009. <http://www.Porcicultura.Com> – artículos - Tratamiento de efluentes porcícolas en granjas de traspatio.

ANEXOS

ANEXO A

CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL PORCÍCOLA, FINCA CANAGUARIOS.



UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERIA
LABORATORIO DE AGUAS



Hoja 1 de 1

Solicitante: **Cooperativa Creer en lo Nuestro**

Nit. 813.009.568-1

Municipio: **Rivera – Huila.**

Fuente: **Porquerizas**

Finca: **Los Canaguarios**

Fecha de recibo: **Marzo 18 de 2009**

Fecha de entrega: **abril 3de 2009**

ANALISIS FISICOQUIMICO

PARAMETRO	UNIDADES	RESULTADO	RESULTADO
		Lab. N° 0025	Lab. N° 0026
Temperatura Ambiente	°C	30	30
Temperatura del agua	°C	22	22
pH	Unidades	6.7	6.8
DBO5	mg/l O ₂	3250	2820
Grasas y Aceites	mg/l	28.2	6.9
Sólidos Suspendidos.	mg/l	8750	1960
Nitrógeno Amoniacal	mg/l NH ₃ -N	258	149
Fosfatos	mg/l PO ₄ ⁼	1020	440

OBSERVACIONES:

- Lab. N° 0025: Muestra de agua agitada
- Lab. N° 0026: Muestra de agua decantada

- Los resultados corresponden estrictamente a una muestra de agua puesta en el laboratorio de aguas de la universidad Surcolombiana.

Atentamente,


JAIMÉ ROJAS PUENTES
Coordinador Laboratorio de Aguas

ANEXO B

Tabla 27. Observaciones prueba de sedimentación N° 1 (aguas residual proveniente de la porqueriza).

HORA	TIEMPO (MIN)	SEDIMENTACION ht (cm)		APARIENCIA
11:30:00 a.m.	Inicio	00,0		Normal
11:45:00 a.m.	15	20,0		Normal
12:00:00 p.m.	30	19,6		Normal
12:15:00 p.m.	45	18,0		Normal
12:30:00 p.m.	60	16,0		Normal
12:45:00 p.m.	75	15,7		Normal
01:00:00 p.m.	90	11,8		Normal
01:15:00 p.m.	105	10,7		Normal
01:30:00 p.m.	120	8,8		Normal
01:45:00 p.m.	135	7,0		Normal
02:00:00 p.m.	150	5,0		Normal
02:15:00 p.m.	165	5,0		Normal
02:30:00 p.m.	180	5,1		Normal
02:45:00 p.m.	195	5,0		Normal
luego de 3 horas y 15 minutos, se observa que el material decantado comienza a subir nuevamente				
HORA	TIEMPO (MIN)	FLOTANTE (cm)	DECANTADO (cm)	APARIENCIA
03:00:00 p.m.	210	0,4	5,00	Normal
03:15:00 p.m.	225	0,8	8,00	Normal
03:30:00 p.m.	240	1,5	9,20	Normal
03:45:00 p.m.	255	3,2	11,00	Normal
04:00:00 p.m.	270	4,3	13,00	Esponjosa
04:15:00 p.m.	285	4,8	14,00	Esponjosa
04:30:00 p.m.	300	5,1	14,00	Esponjosa
04:45:00 p.m.	315	5,0	14,20	Esponjosa
05:00:00 p.m.	330	5,4	12,80	Esponjosa
Luego de 24 horas				
11:00:00 a.m.	960	8,50	3,50	esponjosa, larvas

Fuente: Artunduaga, Gordillo, 2009

Tabla 28. Observaciones prueba de sedimentación N° 2 (Concentrado disuelto en agua).

HORA	TIEMPO (MINUTOS)	SEDIMENTACIÓN h_t (cm)	APARIENCIA
09:00:00 a.m.	Inicio	00.00	Normal
09:15:00 a.m.	15	15.30	Normal
09:30:00 a.m.	30	12.10	Normal
09:45:00 a.m.	45	09.50	Normal
10:00:00 a.m.	60	08.20	Normal
10:15:00 a.m.	75	07.90	Normal
10:30:00 a.m.	90	07.10	Normal
10:45:00 a.m.	105	06.50	Normal
11:00:00 a.m.	120	05.80	Normal
11:15:00 a.m.	150	05.90	Normal
11:30:00 a.m.	180	05.80	Normal
11:45:00 a.m.	150	05.80	Normal
12:00:00 p.m.	180	05.80	Normal
12:15:00 p.m.	195	05.90	Normal
12:30:00 p.m.	210	05.80	Normal
12:45:00 p.m.	225	05.90	Normal
01:00:00 p.m.	240	05.80	Normal
Luego de 24 horas			
09:00:00 a.m.	105	05.50	Espumosa

Fuente: Artunduaga, Gordillo, 2009

ANEXO C

Tabla 29. Prueba tiempo de secado del concentrado recuperado

SUPERFICIE	TRATAMIENTO	HORA INICIO	HORA FINAL	TIEMPO SECADO	CUALIDAD SECADO
Temperatura ambiente promedio de 28 °C					
Piso en concreto	<i>Escurrida</i>	07:00 a.m.	02:30 p.m.	7.5 h	SECO PAREJO
	Sin escurrir	08:00 a.m.	05:30 p.m.	9.5 h	SECO
Piso en concreto y secador parabólico	<i>Escurrida</i>	08:00 a.m.	01:15 p.m.	5 h 15 min	SECO PAREJO
	Sin escurrir	08:00 a.m.	04:00 p.m.	8 h	SECO PAREJO
Bandeja Plástica Perforada	Sin escurrir	07:00 a.m.	07:00 p.m.	12 h	PARTES HUMEDAS
Plástico	<i>Escurrida</i>	07:00 a.m.	06:30 p.m.	11.5 h	SECO-HUMEDO
Recipiente de vidrio	Sin escurrir	07:00 a.m.		36 h	DAÑADO

Fuente: Artunduaga, Gordillo, 2009

ANEXO D

RESEÑA FOTOGRAFICA CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL LABORATORIO DE AGUAS UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA



DETERMINACION DE GRASAS Y ACEITES



DETERMINACION DE SS



CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL LABORATORIO DE AGUAS UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA



DETERMINACION DE DBO, PH



DETERMINACION DE N Y P



**PRUEBA DE SEDIMENTACIÓN N°2
(CONCENTRADO DISUELTO EN AGUA).**



INICIO DE LA PRUEBA



A 30 MINUTOS



A 1 HORA



A 1 HORA 45 MINUTOS



A 1 HORA 30 MINUTOS



A 24 HORAS

PRUEBA TIEMPO DE SECADO DEL CONCENTRADO RECUPERADO



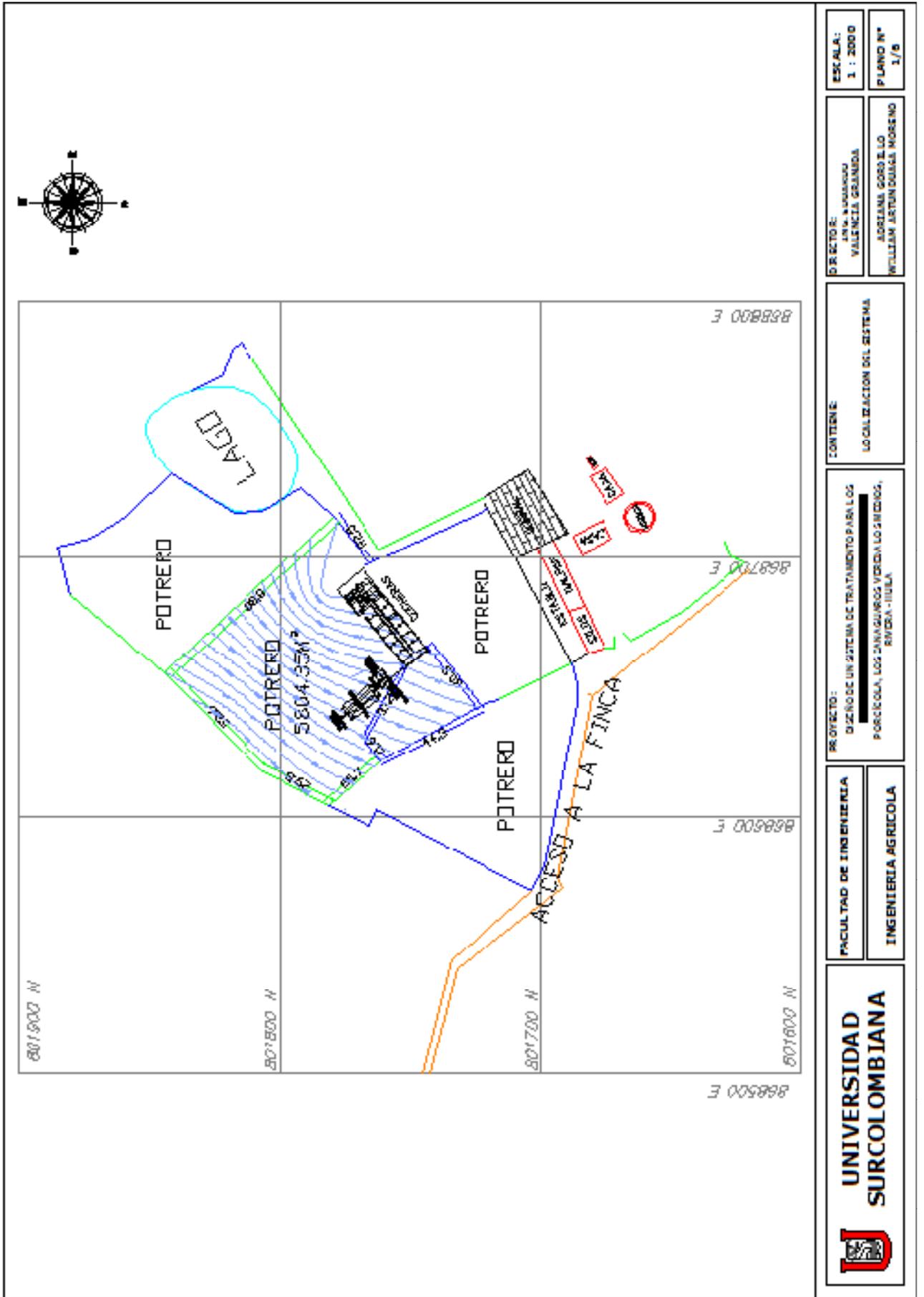
ESCURRIMIENTO DEL CONCENTRADO



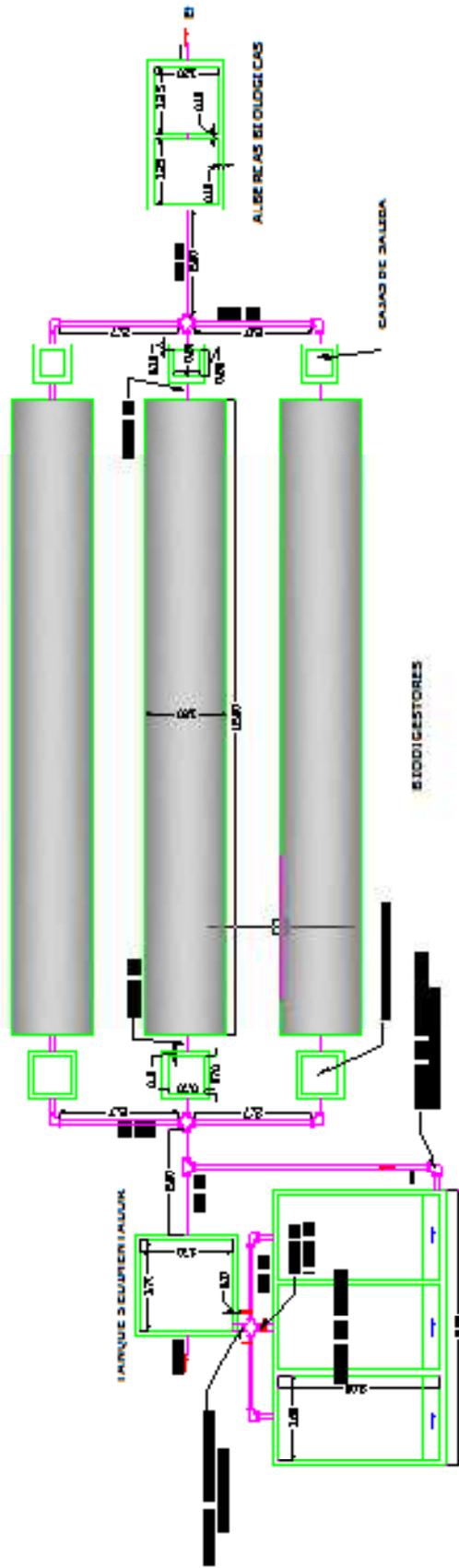
DIFERENTES SUPERFICIES UTILIZADAS PARA LA PRUEBA



PLANOS



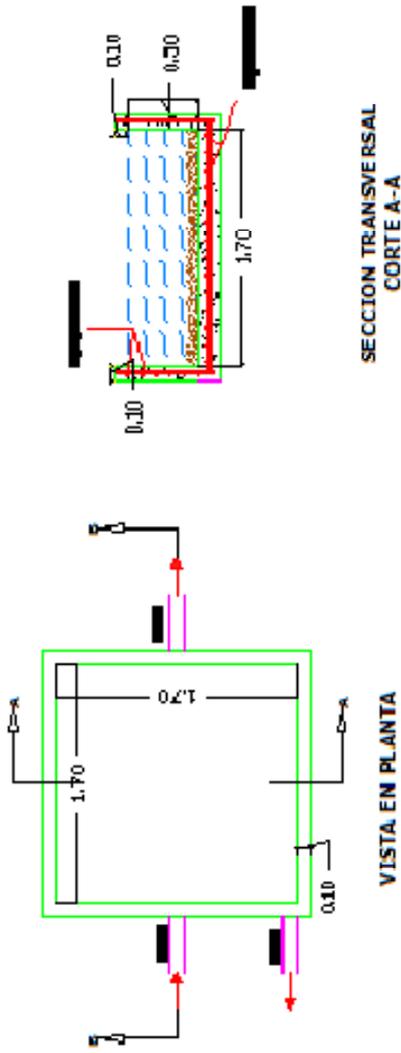
VISTA EN PLANTA GENERAL



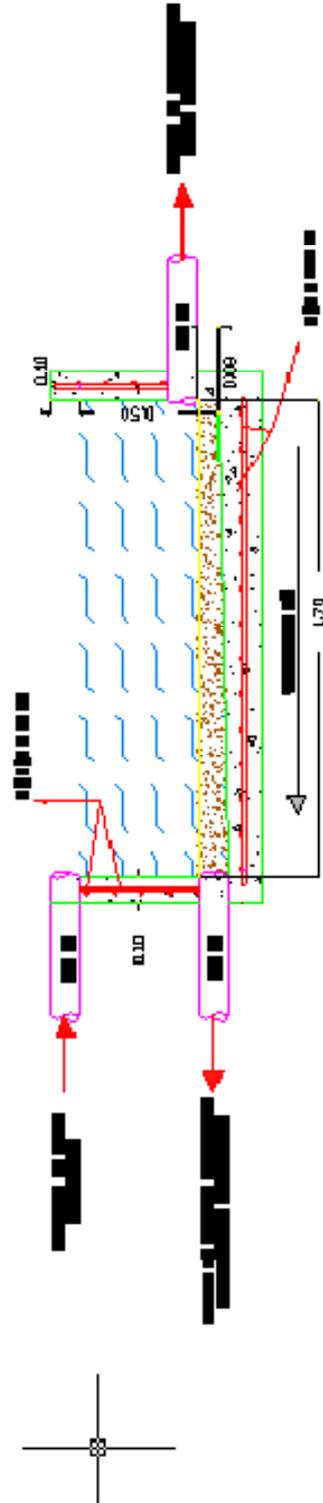
VISTA EN PERFIL



 UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA	FACULTAD DE INGENIERIA INGENIERIA AGRICOLA	PROYECTO: DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LOS RESIDUOS SÓLIDOS DE LA EMPRESA SIDA S.A. EN LA ZONA DE LA COMUNA DE VECINDAL Y MEDIO, MUNICIPIO DE SAN CARLOS, DEPARTAMENTO DE CAQUETA.	CONTIENE: VISTA EN PLANTA Y PERFIL Y EN GENERAL DEL SISTEMA	DIRECTOR: ING. EDUARDO VALENZUELA ADRIANA GONZALEZ PERDOMO WILHELM ARTUNDUAGA MORENO	ESCALA: 1:120 PLANO N° 2/8
--	---	--	--	--	---



ESCALA: 1 : 50



UNIVERSIDAD
SURCOLOMBIANA

FACULTAD DE INGENIERIA

INGENIERIA AGRICOLA

PROYECTO:
DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LOS
RESIDUOS PROVENIENTES DE LA COPIACION
PORCICOLA, LOS CARNICEROS VECEROS LOS MEDOS,
RIVERA - ITULA

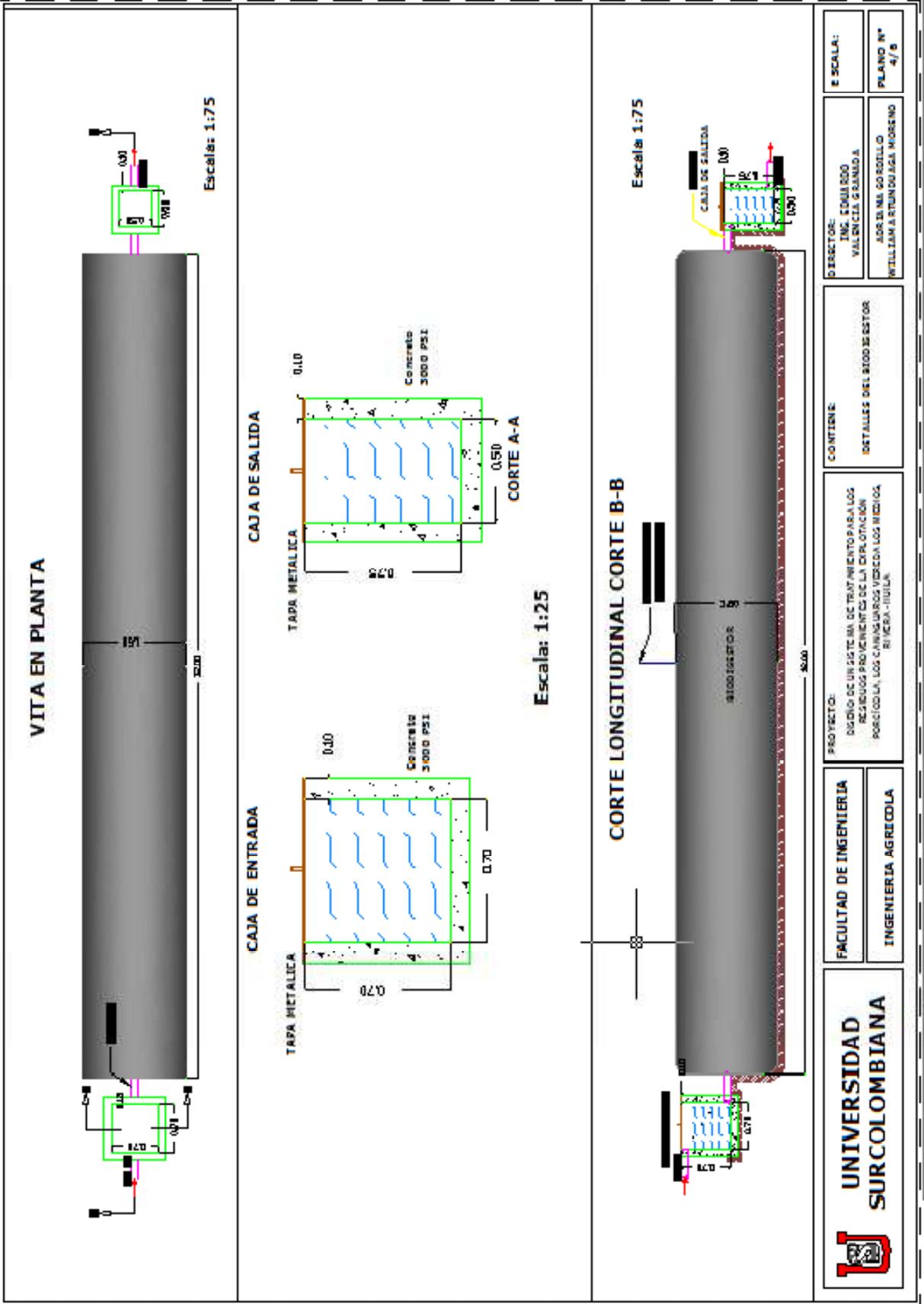
CONTIENE:
DETALLES DEL TANQUE DE
SEDIMENTACION

DISEÑADOR:
ING. EDUARDO O
VALENZUELA GRANADA

PROFESOR:
ANDRÉS GÓRDO ILLÓ
WILLIAM ASTUNOARGA MORENO

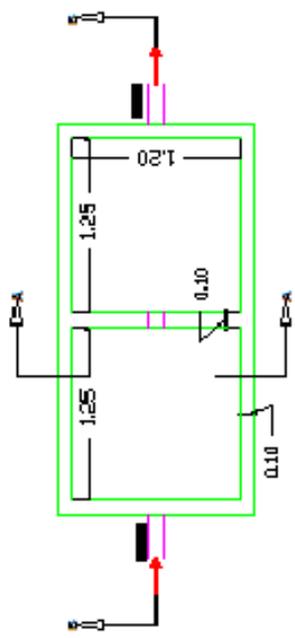
ESCALA:
1:2.5-30

PLANO N°
3/3

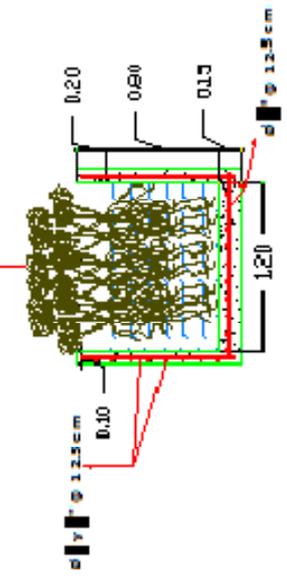


 UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA	FACULTAD DE INGENIERIA INGENIERIA AGRICOLA	PROYECTO: DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LOS RESIDUOS PROVENIENTES DE LA EXPLORACION PISCICOLA, LOS CANALES VERDECA LOS MEDIOCA, SIENFERA-TIULA.	CONTIENE: DETALLES DEL BIODIGESTOR	DISEÑADOR: ING. EDUARDO VALDERRAMA GONZALEZ ASESORADO POR: WILLIAM FERNANDO AGUIRRE MORENO	ESCALA: PLANO N° 4/8
---	--	--	--	--	--

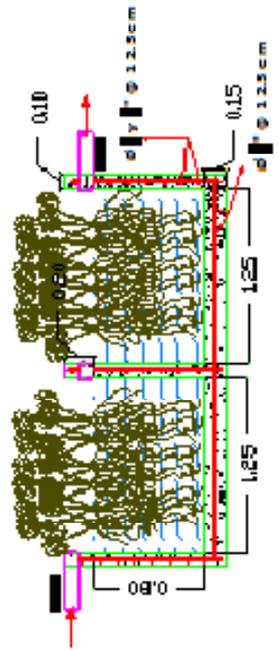
VISTA EN PLANTA



SECCION TRANSVERSAL



SECCION TRANSVERSAL CORTE A-A



CORTE LONGITUDINAL CORTE B-B



**UNIVERSIDAD
SURCOLOMBIANA**

FACULTAD DE INGENIERIA

INGENIERIA AGRICOLA

PROYECTO:
DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LOS
RESIDUOS PROVENIENTES DE LA EXTRACTACIÓN
POSTERIOR A LOS CANNABIS, VEREDA LOS MEDIOS,
BARRIO - JUIBIA.

CONTIENE:
DETALLES DE LA ASERBECA
BIOLOGICA

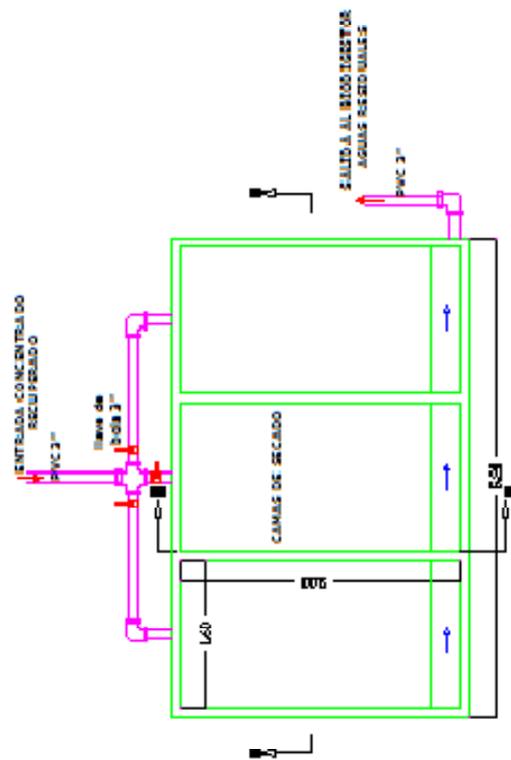
DIRECTOR:
ING. EDUARDO
YALENCIA GRANADA

ALVARO GONZALEZ
WILLIAM ARTUNDUAGA MORENO

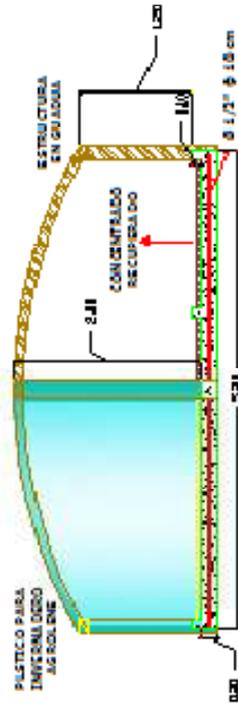
ESCALA:
1 : 30

PLANO N°
5 / 6

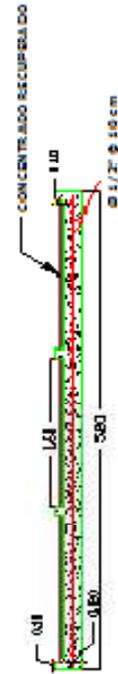
VISTA EN PLANTA



VISTA EN PLANTA ESTRUCTURA SECADOR PARABOLICO



SECCION TRANSVERSAL CORTE A' - A'



SECCION LONGITUDINAL CORTE B-B

 UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA	FACULTAD DE INGENIERIA	PROYECTO: DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LOS RESIDUOS PROYECTOS DE LA EXPLOTACION POROCEOLA, LOS CAMBIAJOS, VEREDA LOS NEGROS, MUNICIPIO DE TUNJA, TOLIMA	CONTIENE: DETALLES ESTRUCTURA DE SECADOR	DISEÑADO POR: ING. EDUARDO VALENZUELA GONZALEZ	ESCALA: 1 : 7.5
	INGENIERIA AGRICOLA			INGENIERO RESPONSABLE: ING. WILLIAM BUSTAMANTE MORENO	PLANO N° 9/9

ARTICULO CIENTIFICO

Recuperación parcial del concentrado de la porquinaza, una alternativa ambiental y económica para la porcicultura.

Partial recovery of the concentrate food of manure, an environmental and economical alternative to the pork production.

William Artunduaga Moreno¹, Luz Adriana Gordillo P.² y Eduardo Valencia Granada³

Resumen

Con el fin de recuperar parte del concentrado presente en las aguas residuales producto del manejo de 400 cerdos de la finca Canagueros (Rivera Huila), y ser utilizado como alimento para bovinos, se realizaron en laboratorios de la Facultad de Ingeniería una prueba para la separación de la fracción sólida (concentrado) de la líquida mediante un proceso de sedimentación y una prueba de secado del concentrado recuperado por acción del sol; para caracterizar el efluente se tomaron muestras que en el Laboratorio de Aguas de la Universidad Surcolombiana por métodos estandarizados se les determinaron pH, DBO, SS, N, P, Grasas y Aceites. Los resultados de la caracterización fueron pH = 6.7, DBO = 3250 mg/l, SS = 8750 mg/l, G y A = 28.2 mg/l, N = 258 mg/l y P = 1020 mg/l. El tiempo de sedimentación de 2 horas 30 minutos obtenido, es el parámetro que se recomienda para dimensionar tanques sedimentadores de concentrado. El tiempo de secado del concentrado en un secador parabólico tipo invernadero con piso en concreto es de 8 horas. Se espera recuperar 402 gr/Kg de concentrado utilizado por cerdo y obtener porcentajes de remoción DBO = 13%, SS = 78%, G y A = 75%, N = 42% y P = 57% en tanques sedimentadores.

Palabras Clave: Sedimentación; secado; porquinaza; concentrado.

Abstract

In order to recover some of the concentrate food that is presented in the wastewater produced by management of 400 pigs in the farm Canagueros (Rivera-Huila), and in order to use it as feed for cattle, at the laboratories of the Faculty of engineering, a test was performed to obtain the separation of the solid fraction (the purine) from the liquid, it was done through the process of sedimentation, and a test of drying of the recovered purine. Some standardized tests were performed at the Laboratory for the Management of Waters of the Surcolombiana University to characterize the effluent, and at the same time, they determined pH, BOD, SS, N, P, fats and

¹ Ingeniero Agrícola. Universidad Surcolombiana Neiva. Avenida Pastrana Carrera 1ª. Pollo2541@hotmail.com

² Ingeniera Agrícola. Universidad Surcolombiana Neiva. Avenida Pastrana Carrera 1ª. Adria207@hotmail.com

³ Ingeniero Agrícola. Magíster en Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Docente Universidad Surcolombiana Neiva. Avenida Pastrana Carrera 1ª. eduvale@usco.edu.co

oils. The results of this characterization were: pH = 6.7, DBO = 3250mg/l, SS = 8750mg/l, G and A = 28.2mg/l, N = 258 mg/l and P = 1020mg/l. The sedimentation time of 2 hours and 30 minutes achieved, is the parameter recommended to size tanks for purine sediments. The time to dry the purine into a parabolic dryer sort greenhouse, with concrete floor is of 8 hours. On the other hand, into the tanks for sediments, it is expected to recover 402gr/kg of the concentrate food per pig, and to obtain removal fraction of DBO = 13%, SS = 78%, G and A = 75%, N = 42% and P = 57% as well.

Keywords: Sedimentation, Drying, Manure, concentrate food.

1. Introducción

El problema de la disposición sanitaria de los desechos de la explotación porcícola es de gran magnitud, por la cantidad de contaminantes que contienen. Es necesario tener en cuenta que dos tercios de los alimentos suministrados a los cerdos se convierten en desechos, de los cuales el 60% es concentrado que se puede recuperar. Para ello se deben separar los residuos sólidos (concentrado) de la porquinaza, y luego mediante la deshidratación por lo general al sol, obtener un producto seco que pueda almacenarse e incorporarse fácilmente en la dieta de otros animales.

La contaminación producida por una explotación porcina puede variar de acuerdo al estado fisiológico de los animales y al tipo de alimentación utilizada. El grado en que esta contaminación afecta a las fuentes de agua, depende de la cantidad de agua usada, de si se hace separación de sólidos o no y del manejo dado a los residuos. (Chara, 1998).

La contaminación promedio producida por día en una explotación porcina para 100 kg de peso vivo, es 0.25 kg de DBO, 0,75 kg de DQO, 0.60 kg de SST, 0.75 kg de ST y 0.045 kg de N. (Chara, 1998).

La tabla 1, presenta una caracterización de las aguas residuales provenientes de la actividad porcícola:

Tabla 1. Características fisicoquímicas aguas residuales porcinas

Parámetro	Unidad	Valor
pH	unidades	6 – 8
DBO	mg / L	8000 - 50000
DQO	mg / L	10000 - 200000
ST	mg / L	1200 – 5000
SV	mg / L	500 – 5000
N total	mg / L	1500 – 5000
P	mg / L	1000 – 3000
K	mg / L	1000 – 3000
Densidad estiércol	mg / m ³	1.01 – 1.03

Fuente: Arias, 1998.

Como parte del concentrado contenido en la porquinaza puede ser recuperado, se realizaron pruebas de sedimentación con el fin de determinar el tiempo requerido para diseñar tanques sedimentadores y pruebas de secado para dimensionar secadores parabólicos. Presentando una alternativa ambiental y económica para la problemática de contaminación por las excretas porcinas, al convertirse en una oportunidad, en la medida en que se valoren en su justa dimensión como fuentes de alimentación para otras especies animales.

Los cerdos consumen alimentos de un alto valor proteico, sin embargo, son ineficientes transformadores 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. (Violeta E y Dimna E., 2001).

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 (Henning y Flachowsky, 1982). Dada su condición de monogástrico, el cerdo concentra en las excretas altos niveles de pared celular (44.6%), lignocelulosa (24,3%), lignina (4,9%) y hemicelulosa (20,3%) (Hillar, 1977). También contiene otros elementos como plomo, cadmio y arsénico, vitamina A y del complejo vitamínico B (Henning y Flachowsky, 1982). (Ramírez, 2005).

La práctica de alimentar rumiantes con las excretas porcinas está ampliamente difundida en países de América Latina. Las excretas se separan por medios mecánicos o manuales, se mezclan con granos y otros ingredientes como las melazas, y llegan a sustituir al grano hasta en un 40% en las etapas de engorde. (Pérez, 1998).

Sin embargo, el uso de excretas frescas no es totalmente aceptado debido a la supuesta presencia de microorganismos, posiblemente patógenos, tanto para los animales como para el hombre. Para evitar este problema, las excretas y el guano (sólido prensado), ha sido probado en forma de ensilaje solo o combinado con otros ingredientes, seco y húmedo en dietas para ovinos y bovinos; buscando sustituir granos o fuentes proteicas dado su contenido de alrededor del 20% de proteína cruda. El ensilaje de excretas o guano es un proceso que disminuye las pérdidas de nutrientes, elimina los patógenos, mejora la patabilidad e incrementa el consumo voluntario. Es posible además incorporar otros subproductos agroindustriales como la paja de cereales y la melaza. Sin embargo el ensilaje, da origen a un producto voluminoso relativamente difícil de manipular y con menor contenido de energía. (Herrera y Peralta, 1997). (www.porcicultura.com).

Como fuente de alimento para rumiantes, es ideal, debido a que su composición química se caracteriza por tener un alto contenido de proteína cruda, fibra cruda, cenizas, y valores bajos de extractos etéreos. Las excretas de cerdo en engorda contienen nitrógeno en forma de proteína cruda (23.5%) y en forma de nitrógeno proteico (66.3%) (Kornegay, et al, 1977). (Ramírez, 2005).

Es posible utilizar diferentes métodos para la separación de la fracción sólida de la líquida de las aguas residuales provenientes de la explotación porcícola, como pantallas estacionarias o cribas ó por separadores de tornillo de prensa. Los primeros, remueven solo parte del agua libre por gravedad y nada de la depositada por capilaridad en las mezclas de sólidos y líquidos. En el segundo caso, se exprime toda el agua libre, mas una parte de la depositada por capilaridad, produciendo sólidos secos que se pueden transportar fácilmente y usarse en alimentos balanceados. Estos dos sistemas tienen como desventaja la elevada pérdida de nutrientes cuando los líquidos no son utilizados, la presencia de microorganismos patógenos, elevada inversión inicial así como un alto costo por mantenimiento del mecanismo de separación, además es un equipo recomendado para granjas con grandes instalaciones. (Ramírez, 2005). También se puede realizar esta separación mediante cámaras, las cuales por acción de la gravedad (decantación de sólidos), separan parte sólida recuperable de las aguas residuales. (Pérez, 1998).

Estos sistemas de secado, pueden ser complementados con secado *al sol*, se obtiene un producto seco que puede almacenarse e incorporarse fácilmente en una dieta completa, la contaminación del aire es baja y el manejo que se requiere es mínimo. (Ramírez, 2005). La deshidratación se puede producir por cualquiera de las siguientes técnicas: Secado solar en plataforma, Secado

solar en eras, Secado solar en invernadero, Secado con equipo y por combustión de algún energético. El tipo invernadero, puede ser una caseta cubierta con plástico en cuyo piso se aloja el estiércol; el piso debe tener un sistema de drenaje para el excedente de agua. La caseta cuenta con un sistema de ventilación natural para desalojar la humedad procedente de la evaporación. Las ventajas de este sistema, son eliminación de bacterias no esporuladas, muerte de huevos y larvas de parásitos e insectos, detención de los procesos de oxidación o fermentación, estabilización del contenido nutricional, disminución del peso y volumen del estiércol, eliminación de malos olores (como producto final). Las principales desventajas son: aumento de la pérdida de N por volatilización (hasta un 60%), proliferación de moscas y otros insectos, generación de olores desagradables durante el proceso, necesidad de un terreno amplio. (Salazar, 2005).

El *Secado artificial*, es un método de separación y de control de carga bacteriana, debido a que las altas temperaturas que se alcanzan con el tratamiento, eliminan patógenos y las heces secas son inodoras. Este procedimiento requiere el uso de equipo caro y los costos de energía, recolección y transporte de las excretas hacia los deshidratadores son elevados. (Ramírez, 2005).

2. Metodología

2.1 Localización

Se tomaron muestras del efluente de la porqueriza Finca los Canagueros localizada al Noroccidente del Municipio de Rivera, en jurisdicción de la vereda los Medios, región norte del departamento del Huila, a una altura de 700 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.) y su temperatura media $T = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$.

2.2 Caracterización de las aguas residuales: Se tomó una muestra de 5 litros del efluente de la porqueriza en un balde calibrado, el día miércoles 18 de marzo de 2009, a las 3:30 pm, y las temperaturas ambiente y del agua. De esta agua, se tomaron 4 muestras de 500 mililitros cada una, en recipientes entregados por el laboratorio de aguas de la Universidad Surcolombiana para tal fin. Las muestras fueron entregadas al Laboratorio de Aguas de la Universidad Surcolombiana, a las 4:45 pm del mismo día. En el laboratorio de aguas, dos de las muestras se colocaron a sedimentar durante 2 horas (muestra de agua decantada). A las 4 muestras (2 muestras de agua agitada y 2 muestras de agua decantada) se les determinaron los siguientes parámetros: pH, DBO, SS, G y A (grasas y aceites), N (Nitrógeno amoniacal) y P (fosfatos). En la tabla 2, se presentan los métodos utilizados para la determinación de los parámetros:

Tabla 2. Métodos para análisis de muestras.

Parámetro	Método
T ambiente	Termométrico
T agua	Termométrico
pH	Peachímetro o potenciómetro
DBO	Método título métrico Winkler
SS	gravimétrico
G y A	Gravimétrico y Solvente – cloroformo
N	Título-métrico – ácido bórico
P	Colorimétrico – Cloruro estagnoso

Fuente: Laboratorio de Aguas Universidad Surcolombiana, 2009.

2.3 Prueba de sedimentación del efluente: Las pruebas se realizaron en el Laboratorio de Construcciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Surcolombiana, en un recipiente

de vidrio ($e = 5 \text{ mm}$) en forma de prisma rectangular, de largo ($L = 35 \text{ cm}$), ancho ($a = 25 \text{ cm}$) y altura ($h = 23 \text{ cm}$). (Ver figura 1). Se tomaron datos cada 15 minutos durante 4 horas y un dato luego de 24 horas, de la altura de la parte turbia (h_t) del agua, hasta que h_t presento un valor constante, utilizando como método la observación directa del color. (Ver figura 2). Para las pruebas, se agitó el material y se lleno el recipiente hasta una altura $h_a = 20 \text{ cm}$. (Ver figura 2).

La primera prueba se realizó el día 11 de abril de 2009, con aguas residuales provenientes de la porqueriza de la Finca Canagueros y la segunda, el día 8 de mayo de 2009, con una mezcla de 3 Kg de concentrado para cerdos disueltos en 20 litros de agua.

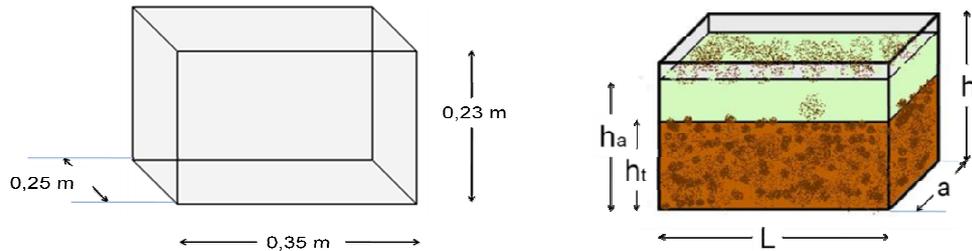


Fig. 1 Recipiente para ensayo de sedimentación

Fig. 2 Ensayo de sedimentación

2.4 Prueba tiempo de secado del concentrado: El objetivo de la prueba es determinar mediante dos tratamientos (Concentrado escurrido y sin escurrir), el tiempo de secado de 2 kilos de concentrado para cerdos diluidos en 2 litros de agua, sobre diferentes superficies y con diferentes contenidos de agua. Las pruebas se realizaron el día 14 de Junio de 2009, en un pasillo del edificio de Ingeniería de la Universidad Surcolombiana, con exposición directa de sol. Para ello se tuvieron en cuenta los Tratamientos: T_1 escurrido: a la muestra se le retiró el exceso de agua mediante escurrimiento. T_2 Sin escurrir: Muestra del concentrado diluido en agua. Las pruebas se iniciaron a las 8:00 am, colocando las muestras con un espesor de 3 cm, sobre diferentes superficies como aparecen en la tabla 8. Cada 30 minutos se observaba y palpaba el concentrado, hasta encontrarse seco. La temperatura ambiente promedio durante el día fue de $28 \text{ }^\circ\text{C}$.

En la tabla 3, aparecen las Superficies utilizadas y los tratamientos que se realizaron para la prueba de secado del concentrado.

Tabla 3. Superficies utilizadas para la prueba de secado del concentrado.

Superficie	Escurreda	Sin escurrir
Piso en concreto	X	X
Piso en concreto y secador parabólico	X	X
Bandeja plástica perforada		X
Plástico	X	
Recipiente en vidrio		X

Fuente: Artunduaga, Gordillo, 2009

2.5 Eficiencia de remoción de contaminantes: Para el cálculo de las eficiencias teóricas en el sedimentador, se utilizaron los datos obtenidos del laboratorio (agua agitada y agua decantada); y para las demás unidades, los datos obtenidos de la literatura.

3. Resultados

3.1 Caracterización de las aguas residuales: La tabla 4, muestra la caracterización del agua residual proveniente del lavado de la porqueriza, finca Canagueros.

Tabla 4. Caracterización del Agua Residual porcícola, finca Canagueros.

Parámetro	Unidad	RESULTADO N° 0025	RESULTADO N° 0026
Temperatura ambiente	°C	30	30
Temperatura muestra	°C	22	22
pH	Unidades	6.7	6.8
DBO	mg/L O ₂	3250	2820
Grasas y Aceites	mg/L	28.2	6.9
Sólidos Suspendedos	mg/L	8750	1960
Nitrógeno Amoniacal	mg/L NH ₃ N	258	149
Fosfatos	mg/L PO ₄	1020	440

OBSERVACIONES:

Muestra N° 0025 corresponde a la muestra de agua agitada.

Muestra N° 0026 corresponde a la muestra de agua decantada.

Fuente: laboratorio de Aguas Universidad Surcolombiana, 2009

3.2 Prueba de sedimentación: La prueba de sedimentación N° 1 (aguas residual proveniente de la porqueriza), dio como resultado, un tiempo de sedimentación de 2 horas y 30 minutos del concentrado que se puede recuperar y una altura $h = 5$ cm medidos a partir del fondo. (Ver tabla 5 y figuras 3 y 4). La prueba de sedimentación N° 2 (Concentrado disuelto en agua), dio como resultado, un tiempo de sedimentación de 1 horas y 30 minutos y una altura $h = 7$ cm medidos a partir del fondo.

Tabla 5. Prueba de sedimentación con aguas residuales de la porqueriza, Finca Canagueros.

TIEMPO (MINUTOS)	SEDIMENTACIÓN h_t (cm)	TIEMPO (MINUTOS)	SEDIMENTACIÓN h_t (cm)
Inicio	0	105	10.70
15	20	120	8.80
30	19.60	135	7
45	18	150	5
60	16	165	5
75	15.70	180	5.10
90	11.80	195	5

Fuente: Artunduaga, Gordillo, 2009

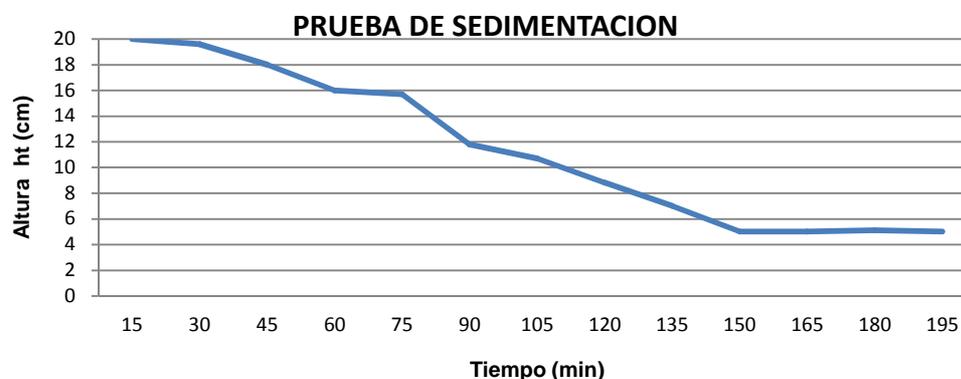


Fig. 3 Resultados prueba sedimentación



Fig. 4 Altura del concentrado sedimentado

3.3 Prueba tiempo de secado del concentrado: En la tabla 6, se presentan los resultados del tiempo de secado; la superficie con menor T_s fue el piso en concreto y secador parabólico, con 5 horas 15 minutos en el tratamiento escurrido y 8 h en el tratamiento sin escurrir.

Tabla 6. Prueba de secado del concentrado recuperado

Superficie	Tratamiento	T_s
Piso en concreto	Escurrida	7.5 h
	Sin escurrir	9.5 h
Piso en concreto y secador parabólico	Escurrida	5 h 15 min
	Sin escurrir	8 h
Bandeja plástica perforada	Sin escurrir	12 h
	Escurrida	11.5 h
Recipiente en vidrio	Sin escurrir	36 h

Fuente: Artunduaga, Gordillo, 2009

3.4 Eficiencia de remoción en el sedimentador

La tabla 7, presenta los resultados de remoción de contaminantes obtenidos en la prueba N° 1, de acuerdo a los resultados de los análisis de laboratorio.

Tabla 7. Eficiencias de remoción de contaminantes en la prueba N° 1.

Parámetro	A.R. agitada	A.R. sedimentada	% Remoción
DBO (mg/L)	3250	2820	13
SS (mg/L)	8750	1960	78
G y A (mg/L)	28.2	6.9	75
N (mg/L)	258	149	42
P (mg/L)	1020	440	57

Fuente: Artunduaga, Gordillo, 2009

En el sedimentador, se esperan remociones similares a las logradas en la prueba N° 1, DBO = 13%, SS = 78%, G y A = 75%, N = 42% y P = 57%. Según estos resultados, el sedimentador será muy eficiente para la remoción de SS, G y A, N y P, y poco eficiente para DBO.

4. Conclusiones

Los sedimentadores tipo Bach son una alternativa importante a la hora de separar parte del concentrado que se encuentra en forma sólida en el agua residual porcícola.

La prueba de sedimentación, dio como resultado, un tiempo de 2 horas y 30 minutos del concentrado que se puede recuperar y una altura $h = 5$ cm medidos a partir del fondo.

De la prueba de secado del concentrado recuperado, el piso en concreto acompañado de secador parabólico, es el sistema recomendado ya que presentó un Ts de 8 horas sin realizarse ningún tipo de escurrimiento.

Se espera recuperar 402 gr/Kg de concentrado utilizado para alimentar a un cerdo de 43 kg de peso aproximadamente.

De 400 kg/día utilizado para alimentar a 400 cerdos en la finca Canagueros, se espera recuperar 160.2 Kg/día.

Con el solo hecho de retirar de las aguas residuales parte de los residuos sólidos (concentrado), se espera remover el 78% de SS, 75% de G y A, 42% de N y 57% de P, los cuales son considerables, y de 13% en DBO lo que nos indica que se debe complementar el sistema con otras unidades como biodigestores o albercas biológicas para obtener un efluente de mejor calidad.

5. Bibliografía

CHARÁ, J. D., 1998. Potencial de las Excretas Porcinas para Uso Múltiple y los Sistemas de Descontaminación Productiva. Contaminación y Reciclaje en la Producción Porcina Aspectos Legales, Técnicos y Económicos. Agosto 20, 49 – 57.

PÉREZ, E. R., 1998. Porcicultura Intensiva y Medio Ambiente en México Situación Actual y Perspectiva, Seminario Internacional. Contaminación y reciclaje en la producción porcina aspectos legales, técnicos y económicos, Agosto 20, 1 – 17.

RAMÍREZ, H. G., 2005. Manejo de Excretas Porcinas, Sistemas Convencionales y Alternativos. Consultado el 07 marzo de 2009. <http://www.Porcicultura.Com> - artículos-manejo de excretas porcinas, sistemas convencionales y alternativos.

SALAZAR, G. G., 2005. Compendio de tecnologías para el manejo y utilización de las excretas de granjas porcícolas. CECEJ-INIFAP. (Parte 2/3).

VIOLETA E. E., y Dimna E. A. H., 2001. Tratamiento de efluentes porcícolas en granjas de traspatio. Consultado el 07 marzo de 2009. <http://www.Porcicultura.Com> – artículos - Tratamiento de efluentes porcícolas en granjas de traspatio.