

**DISEÑO PLANEACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE UNA GRANJA INTEGRAL
A ESCALA DE FINCA GANADERA (ETAPA I)**

PAOLA ANDREA ACEVEDO PABÓN

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE FISICO - QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA
2006**

**DISEÑO PLANEACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE UNA GRANJA INTEGRAL A
ESCALA DE FINCA GANADERA**

PAOLA ANDREA ACEVEDO PABÓN

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniera Química

**Director
LEONARDO ACEVEDO DUARTE
Ingeniero Químico, PhD.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE FISICO - QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA
2006**

TÍTULO: DISEÑO PLANEACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE UNA GRANJA INTEGRAL A ESCALA DE FINCA GANADERA (ETAPA I)*

Acevedo Pabón, Paola Andrea.**

Palabras Claves: Granja integral, porcicultura, palmicultura, piscicultura, manejo de residuos orgánicos.

Descripción o Contenido:

El objetivo fue diseñar, planear y empezar a poner parcialmente en marcha una granja integral que en sí integre zootecnia y fitoproducción. El contexto de granja integral, el escenario de los proyectos y sus variables ambientales, socioeconómicas y generales constituyen imposiciones y orientaciones fuertes de los mismos; por otra parte, las herramientas metodológicas fundamentales fueron el análisis y síntesis de procesos.

Dada la analogía entre la granja integral y un complejo industrial en el cual se desarrollan los diferentes procesos, se aplica la síntesis y análisis de procesos y la evaluación económica a cada proyecto o componente de la granja y se elabora un capítulo para cada componente (capítulos 1, 3, 4 y 5, respectivamente para, porcicultura, piscicultura, palmicultura y planta de preparación de alimentos, aunque, como proyecto de inversión, el biodigestor – estercolero forma parte de la porcicultura, se le destina el capítulo 2).

Para cada proyecto se remite al lector a dos anexos: uno que hace una aproximación a aplicar síntesis y análisis de procesos a sistemas biológicos (excepto en el de palma que se deja para la parte dos) y otro que es una hoja de cálculo en la que se integran los balances de masa y energía con el análisis financiero y la evaluación económica.

En el capítulo 6 se integran los proyectos de la granja y como un todo se hacen planteamientos integrales de administración, análisis financiero y evaluación de rentabilidad económica. Finalmente el capítulo 7 contiene las conclusiones y recomendaciones. La conclusión más importante de este trabajo fue que los diferentes proyectos, individualmente y en su conjunto son rentables y tienen altos márgenes de competitividad que se reflejan en los índices de sensibilidad. La integración de los proyectos refuerza la rentabilidad y competitividad de todos y cada uno de ellos.

* Trabajo de Grado.

** Facultad de Físicoquímicas, Escuela de Ingeniería Química, Director: Leonardo Acevedo Duarte, Ingeniero Químico PhD.

TITLE: DESIGN PLANNING AND BEGINNING OF AN INTEGRAL FARM ON SCALE OF CATTLE PROPERTY (STAGE I)*

Acevedo Pabón, Paola Andrea.**

Key words: Integral farm, pig breeding, palm farming, pisciculture, handling of organic waste.

Description or Content:

The project's objective was to design, glide and begin to partially start up an integral farm that integrates animals breeding and plants cultivation. The context of the integral farm, the scene of the projects, and their environmental, socio-economic, and general variables, by themselves, constitute strong impositions and directions; on the other hand, the fundamental methodological tools used were the analysis and synthesis of processes. Given the analogy between the integral farm and an industrial complex in which the different processes are developed, the synthesis and analysis of processes and the economic assessment are applied to each project or component of the farm, and a chapter for each component is elaborated (chapters 1, 3, 4 and 5, respectively for, pig breeding, pisciculture, palm farming, and plant of food preparation; though, as an investment project, the biodigestor – manure heap is part of pig breeding and it is addressed in the chapter 2). The reader is sent to two annexes in each project: one that approaches applying synthesis and analysis of processes to biological systems (except for that of the palm which is left for the second part), and the other constituted by a spreadsheet where the balances of mass and energy are integrated with the financial analysis and the economic assessment. In chapter 6, the projects of the farm are integrated, and, as whole, integral expositions of administration, financial analysis, and evaluation of economic profitability are made. Finally, chapter 7 includes the conclusions and recommendations. This work's most important conclusion is that the different projects, individually and as a whole, are profitable and have high competitiveness margins that are reflected in the sensitivity indexes. The integration of the projects reinforces the profitability and competitiveness of one and all of them.

* Work of Degree.

** Faculty of Fisicoquímicas, School of Chemical Engineering, Director: Leonardo Acevedo Duarte, Chemical Engineer PhD.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.	1
1. PORCICULTURA.	3
1.1 UBICACIÓN Y BASES DE CÁLCULO.	3
1.2 DIAGRAMA DE FLUJO – EQUIPOS, PROCESOS Y OPERACIONES.	3
1.3 BALANCES DE MASA Y ENERGÍA.	5
1.4 ASPECTOS TÉCNICOS COMPLEMENTARIOS.	9
1.5 ASPECTOS DE MERCADO.	10
1.6 ASPECTOS ADMINISTRATIVOS.	11
1.7 ASPECTOS FINANCIEROS.	12
1.8 EVALUACIÓN ECONÓMICA.	12
2. BIODIGESTOR - ESTERCOLERO.	13
2.1 UBICACIÓN Y BASES DE CÁLCULO.	13
2.2 OPERACIONES Y PROCESOS.	14
2.2.1 Operación Actual.	15
2.2.2 Operación como Biodigestor.	15
2.2.3 Operación como Estercolero.	17
2.3 BALANCES DE MASA Y ENERGÍA DE OPERACIÓN ACTUAL.	17
2.4 ASPECTOS DE MERCADO, ADMINISTRATIVOS, FINANCIEROS Y EVALUACIÓN ECONÓMICA.	18
3. PISCICULTURA.	19
3.1 UBICACIÓN Y BASES DE CÁLCULO.	19
3.2 DIAGRAMA DE FLUJO – EQUIPOS, OPERACIONES Y PROCESOS.	22
3.3 BALANCES DE MASA Y ENERGÍA.	23
3.3.1 Flujos Relacionados con el Mercado.	23
3.3.1.1 Flujo de Alimentos.	23
3.3.1.2 Flujo de Alevines.	26
3.3.1.3 Flujo de Pescados Beneficiados y Vísceras.	26
3.3.2 Flujos Relacionados con el Acondicionamiento de los Estanques.	27
3.3.3 Flujos entre Componentes del Ambiente.	27
3.3.3.1 Flujo de Energía Solar Incidente y Reflejada.	27
3.3.3.2 Flujos de Agua.	27
3.3.4 Balance Global.	29
3.4 ASPECTOS TÉCNICOS COMPLEMENTARIOS.	29
3.5 ASPECTOS ADMINISTRATIVOS.	29
3.6 ASPECTOS DE MERCADO.	31
3.7 ASPECTOS FINANCIEROS.	31
3.8 EVALUACIÓN ECONÓMICA.	32
4. PALMICULTURA.	33
4.1 UBICACIÓN Y BASES DE CÁLCULO.	33
4.2 DIAGRAMA DE FLUJO – EQUIPOS, OPERACIONES Y PROCESOS.	33
4.3 BALANCES DE MASA Y ENERGÍA.	34
4.4 ASPECTOS TÉCNICOS COMPLEMENTARIOS.	38
4.5 ASPECTOS DE MERCADO.	38
4.6 ASPECTOS ADMINISTRATIVOS.	40
4.7 ASPECTOS FINANCIEROS.	40

4.8 EVALUACIÓN ECONÓMICA.	40
5. PLANTA DE PREPARACIÓN DE ALIMENTOS.	41
5.1 UBICACIÓN Y BASES DE CÁLCULO.	41
5.2 DIAGRAMA DE FLUJO – EQUIPOS, OPERACIONES Y PROCESOS.	41
5.3 BALANCES DE MASA Y ENERGÍA.	43
5.4 ASPECTOS DE MERCADO.	45
5.5 ASPECTOS ADMINISTRATIVOS.	46
5.6 EVALUACIÓN ECONÓMICA.	46
6. GRANJA INTEGRADA COMO COMPLEJO INDUSTRIAL	47
6.1 DIAGRAMA DE FLUJO GLOBAL.	47
6.2 ASPECTOS ADMINISTRATIVOS.	47
6.3 ASPECTOS FINANCIEROS.	50
6.4 EVALUACIÓN ECONÓMICA	50
6.5 ANÁLISIS AMBIENTAL INTEGRADO	51
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	54
7.1 CONCLUSIONES.	54
7.2 RECOMENDACIONES.	55
BIBLIOGRAFÍA	56
ANEXO A	59
ANEXO B	66
ANEXO C	74
ANEXO D	90
ANEXO E	97
ANEXO F	102

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación en la finca de componentes de la granja integral.	4
Figura 2. Constituyentes básicos del proceso de digestión.	5
Figura 3. Flujos de Masa y Energía en la cochera.	6
Figura 4. Esquema del biodigestor – estercolero.	13
Figura 5. Dimensiones del biodigestor – estercolero (cm).	14
Figura 6. Localización de estanques para peces en la finca.	19
Figura 7. Distribución y dimensiones de estanques piscícolas.	23
Figura 8. Flujos de masa y energía de estanques piscícolas.	24
Figura 9. Red de distribución de Agua entre los estanques.	30
Figura 10. Flujos de masa y energía del cultivo de palma	34
Figura 11. Evolución anual de precios.	39
Figura 12. Distribución en planta de alimentos.	41
Figura 13. Esquema 3D de la planta de alimentos.	42
Figura 14. Diagrama de flujo global	47
Figura 15. Organigrama de la granja integral.	48
Figura A1. Mapa esquemático de la finca.	62
Figura B1. Complejo donde se desarrolla la digestión salival.	67
Figura B2. Partes del estómago.	68
Figura D1. Principales etapas de la digestión anaerobia y grupos bacterianos involucrados.	92
Figura D2. Interrelaciones entre las bacterias sulfato reductoras durante la degradación de la materia orgánica.	93
Figura E1. Anatomía general de los peces.	97
Figura E2. Estructura de las membranas celulares.	101

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Consumos de agua y alimento para cada etapa del cerdo.	7
Tabla 2. Excretas y orina por tipo de cerdo.	7
Tabla 3. Flujos totales anuales de masa y energía en la cochera.	9
Tabla 4. Especificaciones de corrales para porcinos.	10
Tabla 5. Resultados de la Evaluación económica del proyecto de porcicultura.	12
Tabla 6. Consideraciones cualitativas para diseño del Biodigestor – Estercolero.	16
Tabla 7. Información sobre flujos y distancias de fuentes de agua.	21
Tabla 8. Requerimientos de calidad de agua para estanques piscícolas.	23
Tabla 9. Dietas y pesos de cachamas alevinos en función de la edad.	24
Tabla 10. Dietas y pesos de tilapia alevinos en función de la edad.	25
Tabla 11. Dietas y pesos de cachamas de levante en función de la edad.	25
Tabla 12. Dietas y pesos de tilapias de levante en función de la edad.	25
Tabla 13. Dietas y pesos de tilapias de ceba en función de la edad.	26
Tabla 14. Variación del albedo de los estanques de acuerdo a la hora.	28
Tabla 15. Dimensiones de los estanques por construir.	29
Tabla 16. Resumen de resultados de evaluación económica de piscicultura.	32
Tabla 17. Producción del cultivo de 10 Ha de acuerdo a la edad.	35
Tabla 18. Producción anual de los cultivos integrados.	36
Tabla 19. Resultados de la evaluación económica del cultivo de palma.	40
Tabla 20. Especificaciones de la picapastos.	43
Tabla 21. Flujos máximos de mezcla.	44
Tabla 22. Flujo de materias primas para la preparación de alimentos para cerdos cuando hay disponibilidad de polvillo en el mercado	44
Tabla 23. Flujo de materias primas para la preparación de alimentos para cerdos cuando no hay disponibilidad de polvillo en el mercado.	45
Tabla 24. Perfil básico del personal de la granja integral	48
Tabla 25. Perfil deseable y demás factores a considerar en el personal.	49
Tabla 26. Inversiones adicionales de la granja como finca productiva.	51
Tabla 27. Flujos Desde y Hacia Componentes del Ambiente de los Diferentes Proyectos	52
Tabla A1. Características de Sabana de Torres	61
Tabla B1. Transformación de los aminoácidos en aminos durante el proceso de putrefacción.	73
Tabla C1. Comparación de Biodigestores y Sedimentadores con Sistemas de Doble Propósito Productivo	77
Tabla C2. Comparación de Sistemas solo Productivos o solo de Investigación con Sistemas de Producción e Investigación	80
Tabla C3. Instrumentos y Facilidades en el Biodigestor con Propósitos de Investigación	84
Tabla C4. Dotaciones Movibles Para Seguimiento de Biodigestor con Fines de Investigación	85
Tabla C5. Investigaciones Posibles con Diferentes Escalas (Escala de Granja Integral)	87
Tabla C6. Investigaciones Posibles con Diferentes Escalas (Escala de Proyecto de Porcicultura)	88
Tabla C7. Investigaciones Posibles con Diferentes Escalas (Escala de Biodigestor)	89
Tabla D1. Principales reacciones químicas que ocurren en la digestión	

anaerobia de la materia orgánica.	91
Tabla F1. Requerimientos diarios nutricionales de los cerdos para cada etapa.	102
Tabla F2. Información nutricional de diferentes insumos.	103
Tabla F3. Composición de las mezclas.	105

INTRODUCCIÓN

El objetivo general del trabajo de grado objeto de este informe, que se complementará con una segunda parte de estudios posteriores, fue diseñar, planear y empezar a poner parcialmente en marcha una granja integral que en sí integre zootecnia (ganadería bovina y ovina, piscicultura, porcicultura, y avicultura) y fitoproducción (palma africana, maderables, frutales y pastos). Los objetivos específicos fueron: i) Aplicar la metodología de análisis y síntesis de procesos a las operaciones y fenómenos implícitos de una granja integral; ii) Elaborar un Plan de Inversiones para una granja integral y para cada uno de sus proyectos, con base en los correspondientes estudios de evaluación técnica, factibilidad económica – financiera y de impacto ambiental; iii) Soportar la ejecución y puesta en marcha de algunos de los proyectos evaluados.

El contexto de granja integral ^[2,11,21,34] y el escenario de los proyectos y sus variables ambientales, socioeconómicas y generales constituyen imposiciones y orientaciones fuertes de los mismos; por otra parte, las herramientas metodológicas fundamentales fueron el análisis y síntesis de procesos, ampliamente descrito en la literatura correspondiente ^[4,9,14,26,27] y la evaluación de factibilidad técnica y económica, también objeto de profusa bibliografía ^[17], de cada componente del proyecto y del conjunto de ellos. Estos temas, con el título de ESCENARIO Y METODOLOGÍA DE ESTUDIO DE LOS PROYECTOS se presentan sumariamente en el Anexo A. del informe.

Dada la analogía entre la granja integral y un complejo industrial en el cual se desarrollan los diferentes procesos, se aplica la síntesis y análisis de procesos y la evaluación económica a cada proyecto o componente de la granja y se elabora un capítulo para cada componente (capítulos 1, 3, 4 y 5, respectivamente para, porcicultura, piscicultura, palmicultura y planta de preparación de alimentos).

Aunque como proyecto de inversión, el biodigestor – estercolero forma parte de la porcicultura, se le destina el capítulo 2 y se invita al lector a considerar con especial atención el doble propósito productivo (biodigestor y estercolero) y el doble propósito productivo – investigación, en cuanto se diseñó y construyó el mencionado sistema para procesar residuos de la granja y para realizar investigaciones en él.

Se considera interesante dentro de los balances de masa y energía de cada proyecto, que se tienen en cuenta, además de los flujos relacionados con el mercado y los flujos entre componentes, los flujos de masa y energía con componentes del medio ambiente y entre componentes del ambiente; se calcula así el impacto ambiental, positivo o negativo de cada proyecto y de cada unidad de producto.

Para cada proyecto se remite al lector a dos anexos: uno que hace una aproximación a aplicar síntesis y análisis de procesos a sistemas biológicos (excepto en el de palma que se deja para la parte dos en el proyectos de pastos y cultivos de frutales) y otro que es una hoja de cálculo en la que integran los balances de masa y energía con el análisis financiero y con la evaluación económica y, para algunos casos, con otros aspectos particulares de cada proyecto.

En el capítulo 6 se integran los proyectos o componentes de la granja y como un todo se hacen planteamientos integrales de administración, análisis financiero y evaluación de rentabilidad económica.

Finalmente el capítulo 7 contiene las conclusiones y recomendaciones.

Vale la pena comentar que es enriquecedora la experiencia de integrar proyectos tan disímiles y en apariencia tan apartados de los conocimientos y prácticas de la ingeniería química como muchos de los que conforman una granja integral. Fue necesario consultar a profesionales de disciplinas diferentes e integrar conocimientos profesionales formales con conocimientos empíricos en buena parte no formalizados.

La bibliografía se refiere a referencias pertinentes tanto para el texto principal como para cada uno de los Anexos.

1. PORCICULTURA

1.1 UBICACIÓN Y BASES DE CÁLCULO.

Se desarrolló el proyecto para vender sesenta cerdos de 100 kg cada 4 semanas (número y peso unitario para un viaje de camión ganadero). Por clima y otros factores locales se escogió para las hembras paridoras un híbrido Large Wage – Landrace Alemán y para los machos el híbrido de Duroc – Pietram¹. Se estableció un pie de cría de 36 reproductoras compradas con edades diferentes para entrar a gestación en 6 grupos de 6 cerdas cada 4 semanas. Así mismo se adquirieron 3 machos sementales (un macho por cada 12 hembras) de diferentes edades para entrar a servicio cuando las hembras lo necesitaron. Dadas las razas se tiene un período de gestación de 12 semanas y 10 crías por parto². Los neonatos duran en lactancia 5 semanas pero son lechones durante 8 semanas y salen de 10 kg; pasan al período de iniciación de 6 semanas del cual salen con 30 kg; sigue la etapa de crecimiento de 7 semanas del cual salen con un peso de 60 kg; terminan con período de finalización de 7 semanas más y con 100 kg de peso (recomendable para y preferido por el mercado de destino³). El tiempo de residencia total de los cerdos destinados a ceba es 28 semanas, las hembras reproductoras duran en servicio 4 años al igual que los machos (estos tiempos son para productividad ideal, pero analizando y haciendo seguimiento a cada caso individual se dejan hasta 5 años)^[12,19]. Los dos primeros años del proyecto se simulan en la [tabla de Excel Anexo 1](#),

La cochera se ubica en el predio La Conquista, junto a 20 Ha de palma, al centro de preparación de alimentos, al biodigestor estercolero y a la vaquera. Ver Figura 1.

1.2 DIAGRA DE FLUJO – EQUIPOS, PROCESOS Y OPERACIONES.

A pesar de que los cerdos tienen múltiples procesos vitales como la respiración, circulación, etc., dado que en la granja se maneja producto final cerdos cebados en pie, en este proyecto se hace referencia únicamente a los procesos de digestión (con un enfoque global de conversión de alimento en peso vivo). De hecho en la producción animal, la alimentación es uno de los factores que más inciden, tanto en el éxito del proceso, como en los costos de producción, representando entre un 50% a un 80% de los costos totales.

Los cerdos llevan a cabo la digestión mediante enzimas orgánicas que desdoblan (hidrolizan) carbohidratos y proteínas en aminoácidos, azúcares y nucleótidos, lo que

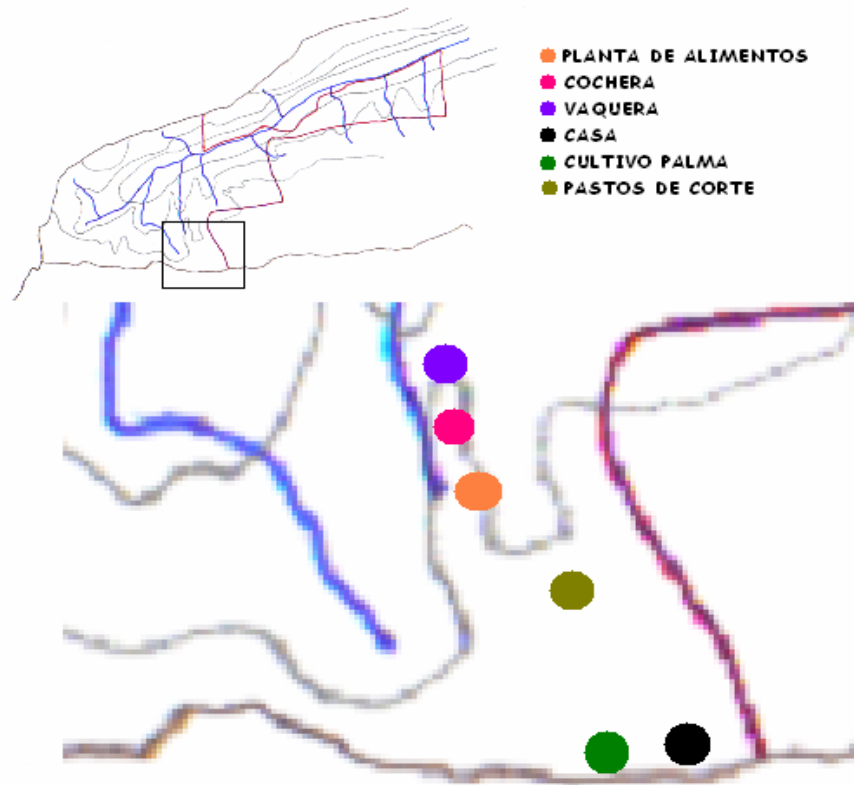
¹ La variable principal del paquete tecnológico es la genética de los animales y su adaptabilidad al clima y condiciones locales; por tanto son claves el conocimiento y experticia para seleccionarlos. En los preámbulos del proyecto se ensayó con razas criollas y locales sin mucho éxito. Este período se tomó como una etapa de aprendizaje de técnicos y administrativo y como pruebas piloto de los diferentes componentes del paquete tecnológico y del mercadeo.

² Como promedio y descontando las pérdidas por diferentes motivos, sobretudo durante los primeros días de vida; al nacer el número promedio de crías es 14. Se manejan cifras conservadoras en el análisis del proyecto, en el sentido de tomar resultados más desfavorables que los realmente obtenidos pero que son probables.

³ Al igual que para los novillos de ceba, los peces, las gallinas y los huevos, el comprador destinatario es Mercadefam S.A.

permite su fácil absorción. Poseen un aparato digestivo sencillo⁴ que consta de un conducto a lo largo del cual se disponen diversos órganos y estructuras, los cuales son atravesados por el alimento durante su proceso de transformación, más las partes por las que pasa la porción sólida de los alimentos que es expulsada como desecho. Asimismo lo integran otros órganos que intervienen en los procesos digestivos aportando los jugos necesarios para tal fin⁶. Los constituyentes básicos son: la boca, el esófago, el estómago, páncreas, vesícula biliar, el intestino delgado y el intestino grueso (Figura 2). En el Anexo B se estudia por separado cada una de las etapas de la digestión, exponiendo sus reacciones y enzimas catalizadoras⁵. La analogía con procesos industriales lleva a la conclusión de que cada órgano es un complejo industrial interconectado con otros varios, con un sistema centralizado de control en el cerebro que emite y recibe mensajes por vía nerviosa o por las corrientes linfática y sanguínea a través de las hormonas; llevando la analogía a nivel microscópico, cada célula es una planta industrial análoga, compleja y muy especializada.

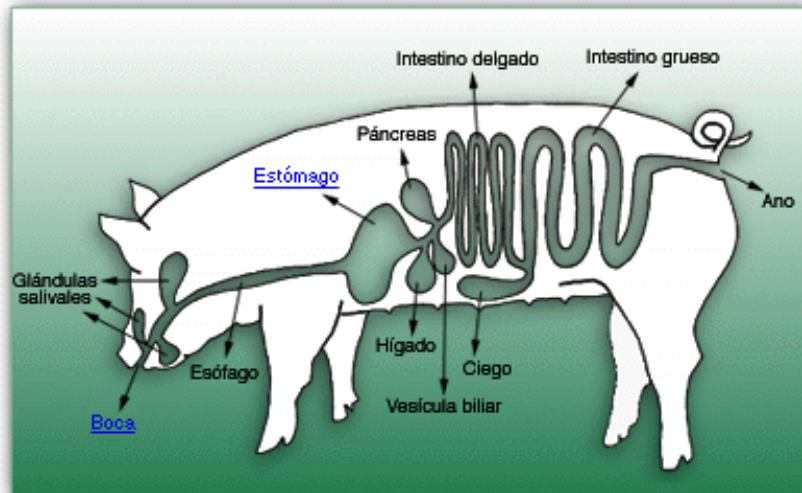
Figura 1. Ubicación en la finca de componentes de la granja integral.



⁴ Desde el punto de vista fisiológico y en comparación con otros animales el tubo digestivo del cerdo es sencillo. Desde el punto de vista de análisis y síntesis de procesos se trata de un complejo industrial equivalente muy complejo.

⁵ Se intenta superar la visión generalizada de considerar a un animal como una “caja negra” de la cual solo se conocen entradas y salidas sin conocimiento de lo que ocurre dentro. El análisis y síntesis de procesos puede ser la herramienta que permita desagregar, desentrañar y ver en detalle lo que ocurre y establecer las relaciones de causa – efecto.

Figura 2. Constituyentes básicos del proceso de digestión.



Fuente. www.puc.cl/sw_educ/prodanim/digestiv/m15fii3b.gif

La conversión alimenticia depende principalmente de la edad del animal y de la composición del alimento suministrado. Hay una dieta diferente para cada etapa y para la ceba se observa que la conversión en la iniciación es 2.7:1, en el crecimiento 3.1:1 y en la finalización 4.5:1. El valor promedio es 3.7:1 partiendo de 20 kg hasta 100 kg^[19].

La producción de leche como producto intermedio podría ser descrita con un estilo y método similar al de la digestión; no obstante este aspecto se contempla en el proyecto de ganado vacuno⁶ que tiene similitudes aunque también diferencias con la producción de leche de cerda. En este informe no se incluyen lo específico de leche de cerda entre otros motivos porque no es un producto final como en el caso de los vacunos.

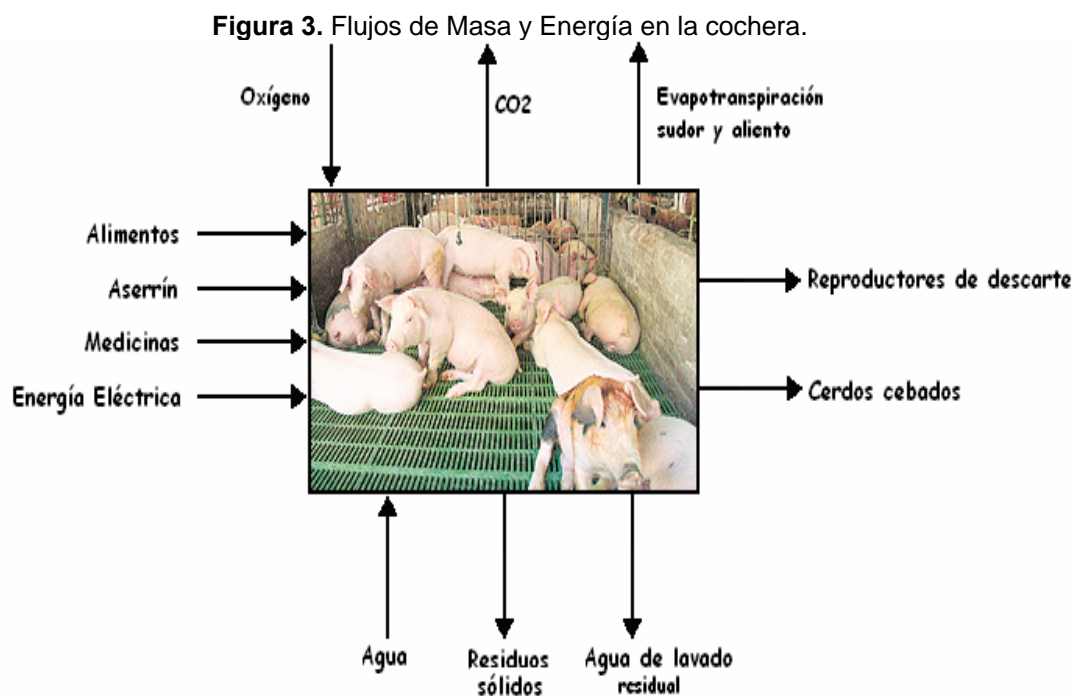
1.3 BALANCES DE MASA Y ENERGÍA.

Las corrientes a cuantificar en la cochera dimensionada anteriormente son: agua, alimentos, aserrín, medicinas, consumo de energía eléctrica, oxígeno, cerdos cebados, excretas, reproductores de descarte, agua empleada en el lavado, dióxido de carbono, evapotranspiración, sudor y aliento, y cantidad de residuos sólidos. En la (Figura 3) se muestran las corrientes de modo que las que se encuentran en los costados laterales son las que vienen o van fuera de la granja (mercado), y las que se encuentran en las partes superior e inferior son internas de la finca, incluyendo en estas los intercambios con componentes de la naturaleza.

Como ya se estableció antes, la corriente de cerdos cebados es la base de cálculo y esta cuantificada en 60 cerdos de 100 kg cada cuatro semanas, de modo que después de vender los seis lotes de cerdos cebados, pasa sólo una semana para que vuelva a comenzar el ciclo.

⁶ Segunda parte o complementaria del presente estudio que con el mismo título que éste adelanta como trabajo de grado Germán Alberto Rangel Ortiz.

El consumo de agua para los animales, al igual que el consumo de alimento viene determinado por la edad. A medida que se desarrolla el proyecto y los animales van creciendo (en cochadas diferentes) se encuentra que hay animales de diferentes tamaños y edades en diferente proporción a través del tiempo. La bibliografía y los expertos recomiendan suministrar alimentos y agua en las cantidades señaladas en la Tabla 1. Los cálculos correspondientes, con base en lo antes referido, se encuentran tabulados día por día en la tabla Excel Anexo1 para los primeros dos años. En el Anexo F (referido a preparación de alimentos) se dan las composiciones de las mezclas para cada etapa y se muestra la forma en que fueron calculadas. El balance de alimentos se hace para la situación pesimista de disposición de insumos como se explican en el capítulo 5.



Para calcular el aserrín, se tiene en cuenta que los porcicultores recomiendan cubrir la totalidad del corral con una capa de aserrín y cambiarla cada tres días. El área total de la cochera (ver aspectos técnicos), para este caso, es de $611,55 \text{ m}^2$ y la capa de aserrín que se acostumbra aplicar es aproximadamente de $0,02 \text{ m}$ de espesor. Teniendo en total un gasto en volumen de aserrín de 12.231 m^3 cada tres días, que traducido a flujo másico es 2446.2 kg cada tres días⁷.

La cantidad de excretas que sale de la cochera es variable debido a los cambios en la cantidad de animales de cada etapa por día. En la Tabla 2 se muestra la cantidad de excretas (orina y porquinaza), que produce un cerdo de acuerdo a su edad. Los cálculos a lo largo del tiempo se muestran en la tabla Excel Anexo1.

⁷ La densidad aparente del aserrín es de 200 kg/m^3

Tabla 1. Consumos de agua y alimento para cada etapa del cerdo.

Estado y peso del cerdo	Consumo diario de agua (l)	Consumo materia seca (g/día)
Verraco 110-180 kg	15	2900
Verraco 180-250 kg	15	3100
Gestación 1ras. 12 semanas	17	2000
Gestación 13a. y 14a. semana	17	2700
Lactancia 1ra. Semana	30	3750
Lactancia 2da. Semana	30	4500
Lactancia 3ra. Semana	30	5600
Lechones 4ta semana	-	500
Lechones 5ta semana	-	570
Lechones 6ta semana	-	650
Iniciación 10 kg	4	600
Iniciación 20 kg	4	900
Crecimiento 30 kg	6	1200
Crecimiento 40 kg	6	1500
Crecimiento 50 kg	6	1800
Finalización 60 kg	10	2100
Finalización 70 kg	10	2300
Finalización 80 kg	10	2500
Finalización 90 kg	10	2700

Fuente. [19]

Tabla 2. Excretas y orina por tipo de cerdo.

ETAPA	Porquinaza (kg/día)	Orina (kg/día)
Reproductor	4.5	9
Cerdas de cría	3	6
Lechones hasta 20 kg	1	2
Ceba 20 - 50 kg	1.5	3
Ceba 50 - 100 kg	2	4

Fuente. [19]

Para la cuantificación del gasto de agua en lavado, se tomó como base un factor tecnológico derivado de prácticas de producción más limpia^[21] que corresponde a 0.006 m³/animal día.⁸ Los consumos en función del tiempo son una columna en la tabla Excel Anexo1.

Los residuos sólidos que salen de la cochera, son retirados con pala y están compuestos por el 95 por ciento de la suma del aserrín humedecido con orina (se considera que el aserrín absorbe 17,93 % de la orina para que alcance la misma humedad de la porcinaza que es 26,4 %) y la totalidad de la porcinaza. El agua de

⁸ Manual de producción más limpia en porcicultura, sacrificio informal de aves, fundición y procesamiento de madera. Nodo de producción más limpia. 2002.

lavado saldrá junto con el cinco por ciento de los residuos sólidos que no se recogieron con la pala.

La motobomba tiene un consumo eléctrico (o de combustible) para bombear el agua pero este no se incluye en los costos de proyectos individuales, sino que se tendrá en cuenta para la integración global, por cuanto el uso mayor de las bombas se destina a la casa o residencia para fines domésticos y porque se instalaron canales en todos los techos de la finca y depósitos de almacenamiento, de manera que se recogen las aguas lluvias y se minimizan las necesidades de bombeo. Se toman, entonces los gastos eléctricos directos de la cochera, como es el sistema de iluminación que consta de 18 bombillos de 100 W (ver aspectos técnicos) que se encienden alrededor de 10 horas diarias. El consumo mensual es aproximadamente 540 kW h.

Las corrientes de oxígeno, dióxido de carbono y evapotranspiración, sudor y aliento, fueron calculadas con factores tecnológicos humanos. Cada día un humano adulto consume 830 g de oxígeno, emite a la atmósfera 1140 g de dióxido de carbono y 1820 g de vapor de agua por concepto de evapotranspiración, sudor y aliento⁹. Los valores de estas corrientes son una columna más en la tabla Excel Anexo1..

De las medicinas no se realizó un balance de masa, simplemente en el análisis de costos se estiman flujos de gastos en ellas de acuerdo con la experiencia en el manejo de la sanidad animal, que derivan en unos consumos promedios.

Como ya se consignó anteriormente, las hembras reproductoras duran en servicio 4 años al igual que los machos (estos tiempos son para productividad ideal, pero analizando y haciendo seguimiento a cada caso individual se dejan hasta 5 años). Se debe añadir, que los machos son reemplazados en un ciento por ciento con compras externas, mientras las hembras se reponen en un ochenta por ciento con nacidas en la finca sometidas a rigurosa selección y el veinte por ciento restante se compra fuera. El objetivo de las compras externas es el mejoramiento genético continuo y el evitar apareamientos incestuosos que implican un riesgo de degeneración y baja productividad. En promedio cada animal de descarte macho pesa 350 Kg y cada hembra 320 Kg.

Al finalizar el primer año, los flujos del proyecto alcanzan sus valores máximos. Es por esto que al sumar los consumos diarios del segundo año del tabla Excel Anexo1 se encontraron los gastos y producciones promedio de los años sucesivos del proyecto. Los datos para el año dos, se muestran en la Tabla 3.

El flujo total de masa que entra es 2.806.548,76 y lo que sale es 2.830.789,62. Con una diferencia entre ellos del 0,864% atribuible al agua evaporada, fugas de agua o bien imprecisiones de los factores tecnológicos. El agua residual de lavado es transportada hacia un biodigestor - estercolero para su tratamiento. Los cálculos referentes al biodigestor se muestran en el capítulo 2.

⁹ <http://homepage.mac.com/uriarte/metabolismo.html>

Tabla 3. Flujos totales anuales de masa y energía en la cochera.

MEZCLA MACHOS (kg)	4.908,06
MEZCLA GESTACIÓN (kg)	31.633,06
MEZCLA LACTANCIA (kg)	19.913,41
MEZCLA LECHONES (kg)	15.359,03
MEZCLA INICIACIÓN (kg)	34.252,37
MEZCLA CRECIMIENTO (kg)	85.785,66
MEZCLA FINALIZACIÓN (kg)	166.400,18
AGUA BEBIDA (kg)	1.010.232,00
AGUA LAVADO (kg)	1.140.444,00
CONSUMO ELECTRICO (kW h)	6.480,00
ASERRÍN (kg)	297.621,00
CERDOS CEBADOS (kg)	90.000,00
Evapotranspiración, sudor y alineto (kg)	345.934,68
Pérdidas por carbono (kg)	58.922,94
RESIDUOS SÓLIDOS (kg)	669.004,75
AGUA DESPUES DEL LAVADO	1.666.927,25

1.4 ASPECTOS TÉCNICOS COMPLEMENTARIOS.

Se concentra ahora la atención en las instalaciones y accesorios necesarios para el buen manejo de los cerdos. De acuerdo con el sistema de explotación empleado, los alojamientos a utilizar se encuentran descritos en la Tabla 4. Los corrales tipo A1 son para machos reproductores y se aloja un animal, los tipo A2 son para albergar cerdas gestantes en grupos de cuatro, los tipo B son los corrales de maternidad donde se acomoda la cerda con sus crías y por último los corrales tipo C son para ceba desde que los lechones tienen 4 semanas hasta que alcanzan los 100 kg en grupos de 10 animales.

El número de corrales necesarios de cada tipo se calcula con el valor máximo de animales en cada etapa de acuerdo a la tabla Excel Anexo1, obteniendo como resultado: 3 corrales tipo A1, 8 corrales tipo A2, 18 corrales tipo B y 42 corrales tipo C. Para un total de 61 corrales y un área de 611.55 m^2 .

Para el cálculo del área total construida se suma un 10 por ciento atribuible a los pasillos intermedios y canales. Son numerosas las características y dimensiones constructivas que se deben tener en cuenta y que no se mencionan por razones de espacio. Téngase en cuenta que la localización, distribución específica, construcción de canales de recolección y conducción de residuos sólidos, se manejaron con rigurosos criterios técnicos para minimizar necesidades de bombeo, evitar y/o minimizar olores, facilitar la conexión y adecuada relación con el biodigestor estercolero y el uso de fertilizantes líquidos y sólidos en los cultivos contiguos. Se destaca, a título de ejemplo, que los techos de vaquera y corrales de porcinos, zonas de bodegas y preparación de alimentos, fueron dotados con canales y un sistema de conexiones y depósitos de agua que permiten capturar y utilizar la totalidad de las aguas lluvias que precipitan. Así mismo se dio tratamiento riguroso al diseño y construcción de áreas de circulación, facilidades de ventilación, alturas de techos,

rampa de embarque y desembarque de cerdos, facilidades de cargue y descargue de insumos y productos, entre muchos otros aspectos.

Tabla 4. Especificaciones de corrales para porcinos.

	Medidas (m)	Tamaño comedero (m)	Tamaño bebedero (m)	Adicionales
Tipo A1	3*2,25	0,35 ancho * 0,35 largo	0,35 ancho * 0,35 largo	
Tipo A2	3*2,25	0,35 ancho * 1,4 largo	0,35 ancho * 1,4 largo	
Tipo B	3*2,25	0,35 ancho * 0,35 largo	0,35 ancho * 0,35 largo	Comedero lechones y jaula removible
Tipo C	3*3,3	0,35 ancho * 3,3 largo	0,35 ancho * 3 largo	

Fuente. [19]

Para limpiar las construcciones se necesita: rascador o escoba para limpiar las paredes y pisos, manguera con puntillo, desinfectantes (creolina: se prepara una solución al 2%) y pintura blanca de cal para las paredes. Con el fin de facilitar la limpieza de los corrales, es necesaria una excelente iluminación. Esto se logra colocando un bombillo de 100 W por cada 4 corrales.

La instalación interna del agua se realizó con una red de tubería de ½ in (se gastaron 6 m por corral) y se colocó en cada corral dos “chupos”¹⁰ pequeños y dos chupos grandes para los bebederos.

En toda granja porcina los lechones, al segundo día de nacidos, son castrados, se le cortan los ocho dientes parecidos a colmillos, se marcan con el número de la camada y el orden de nacimiento, se vacunan y se vitaminizan. Para esto es necesario comprar los equipos necesarios y algunas medicinas veterinarias para cuando se presenten lesiones o enfermedades. Las medicinas y cantidad que deben tenerse siempre en inventarios son: 3 frascos de hierro para lechones, un frasco de Lepecid, 250 cm³ de vitaminas, 250 cm³ de Oxitertraciclina y 500 cm³ de Ivermectina.

1.5 ASPECTOS DE MERCADO.

Los productos obtenidos del proyecto de porcicultura son los cerdos cebados, abono orgánico sin tratamiento (residuos sólidos), abono orgánico con tratamiento (procedente del biodigestor), biogás y aguas residuales con nutrientes para cultivos y siembras..

Los cerdos cebados de 100 kg en la finca, se venden en su totalidad a la firma MERCADEFAM S.A. que los compra con un precio entre \$2700 / kg y \$3300 / kg puestos en Bucaramanga. El costo por transporte desde el predio hasta Bucaramanga es \$ 33,3 / kg y es comprobado que cada cerdo pierde entre el 8% y 10% de su peso en el viaje.

Tanto el predio como la zona circundante están constituidos por suelos arenosos de muy fina capa vegetal que para su explotación necesitan la aplicación de fertilizantes

¹⁰ Dispositivos metálicos especiales para bebedero de cerdos que se conectan a la tubería.

orgánicos que logren aumentar su productividad sin contaminar los suelos con sustancias químicas no deseadas. Los precios de los abonos obtenidos en el proyecto, se establecen con base en los precios de los abonos sustitutos gallinaza sin compostar (para los residuos sólidos) que vale en Bucaramanga \$100/kg y gallinaza compostada (para el abono orgánico con tratamiento) cuyo precio en Bucaramanga es \$140/kg. El incremento de los precios por costo de transporte es \$33,3 por kg. Es difícil cuantificar el valor del agua residual proveniente de las cocheras, que aunque contribuye en el proceso de fertilización de las tierras no existen datos ni documentos que nos aproximen a un valor comercial. Podría calcularse un precio aplicando el método de productos sustitutos (por el valor de fertilizante que se ahorra por el uso de esta agua), no obstante, para ello se necesitarían datos del tipo, precio y cantidad del fertilizante ahorrado o bien una caracterización muy detallada de las aguas para estimar su valor nutricional en los suelos. Para el proyecto de la cochera no se va a considerar un precio sino que se toma como un “regalo” que se otorga a los proyectos de cultivos en que se usan las aguas; allí se va a encontrar una mayor productividad derivada del riego con las aguas sin pagar un precio por estas. Otra manera de considerar este valor es que compensen los gastos de energía de bombeo.

Al gas se le asigna valor por el precio de oportunidad del gas en cilindro ahorrado (antes de disponer del gas del biodigestor, para los usos ahora atendidos por ese gas se consumía 1,5 cilindros de 100 lb de gas a un costo puesto en la finca de \$55 000 por cilindro). En la práctica no se usa todo el gas producido¹¹, no se tiene a corto plazo perspectivas de usarlo, se podría generar más si fuera conveniente y no se dispone de facilidades atractivas para almacenarlo a presión y venderlo.

Los mercados, precios en la finca y características técnicas de los insumos utilizados para la alimentación porcina se tratan con detenimiento en el proyecto de preparación de alimentos y en el proyecto de la palma africana en el que se tiene en cuenta lo referente al fruto de palma. Algo similar ocurre con las consideraciones de alimentos concentrados de marca sustituidos por preparación local.

1.6 ASPECTOS ADMINISTRATIVOS.

Para el manejo de la cochera es necesario un operador con dedicación del 100%. Entre sus funciones se encuentran: la distribución de alimentos, lavado de la cochera, operación del biodigestor y revisión constante del estado de salud de los animales. Además, realizar labores esporádicas como castrar lechones, descolmillar, marcar, descolar e inyectar cuando sea necesario.

Como se dijo anteriormente los alimentos se prepararán en la planta de preparación de alimentos, dónde se empleará otro operario quien será el encargado no solo de

¹¹ Muy recientemente cambió el escenario de análisis de este combustible, de todos los combustibles y en general de los servicios asociados con energía, ante la oferta de la empresa que administra el gasoducto que pasa por la granja integral (el tubo en su parte más cercana está en cada caso entre 20 y 40 metros de distancia de la casa, planta de preparación de alimentos, cochera, vaquera, puntos de bombeo de agua fresca y de aguas de riego). El cambio de escenario es muy fuerte y aparecen numerosas oportunidades de aprovechar la oferta desde aspectos como Jacuzzi en los baños de la casa (visión de finca recreacional) hasta generación de energía eléctrica y todos los motores movidos con gas o con energía producida con base en gas (visión de granja integral empresarial).

preparar los alimentos de los cerdos sino también de los alimentos requeridos por los demás proyectos.

1.7 ASPECTOS FINANCIEROS.

En el análisis financiero se estudiaron seis diversos escenarios con un tiempo de vida útil de tan solo diez años¹². El escenario representado en la matriz de la tabla Excel Anexo 1 es el correspondiente a precio de la carne de \$ 3300 /kg¹³, alimentación de los animales cuando hay disponibilidad de fruto de palma a un precio medio y se tienen como subproductos abono sin procesar, abono procesado y el biogás que se utiliza en la casa y planta de alimentos (escenario 1). Los demás escenarios corresponden a variaciones (análisis de sensibilidad) en el precio de los alimentos¹⁴, variaciones en el precio de la carne de cerdo y el caso en que se considera la carne de cerdo como producto único.

1.8 EVALUACIÓN ECONÓMICA.

Dentro de la inversión fija del proyecto de los cerdos se incluye además de los costos de construcción de corrales con sus correspondientes sistemas de distribución de agua, de manejo de sólidos y red eléctrica, la mitad de lo correspondiente a la planta de alimentos (se comparte con otros proyectos), la totalidad de los costos de la construcción del biodigestor, la tercera parte de los gastos en construcción de sistema de distribución de agua para vaquera, cochera y galpones, y la cuarta parte del costo de la motobomba, motor diesel y generador eléctrico. Estos costos sumados al inventario y dotaciones representan una inversión total de \$ 184 009 443,16.

Manipulando la tabla Excel Anexo 1 se obtuvieron datos para los diferentes escenarios que se consignan en la Tabla 5.

Tabla 5. Resultados de la Evaluación económica del proyecto de porcicultura.

Escenario	TIR (%)	TRI (años)	VPN (\$) (último año)
Escenario 1	46,65	2	362 531 103,63
Precio del alimento aumenta 76,4 %	18	10	0
Precio del alimento aumenta 50%	28,65	4-5	125 496 838,02
No se tienen entradas por concepto de abonos y biogás	18,17	9	2 014 440,62
Con precio de la carne de cerdo 30% menos	27,25	5-6	101 279 749,52
Con precio de la carne de cerdo 41% menos	18	10	0

¹² Las instalaciones tienen vida útil muy superior pero formular análisis con horizontes temporales tan largos tienen incertidumbres riesgosas.

¹³ Puesto en el matadero Vijagual (Bucaramanga)

¹⁴ Que para este y los demás proyectos aparece como la variable clave.

2. BIODIGESTOR – ESTERCOLERO

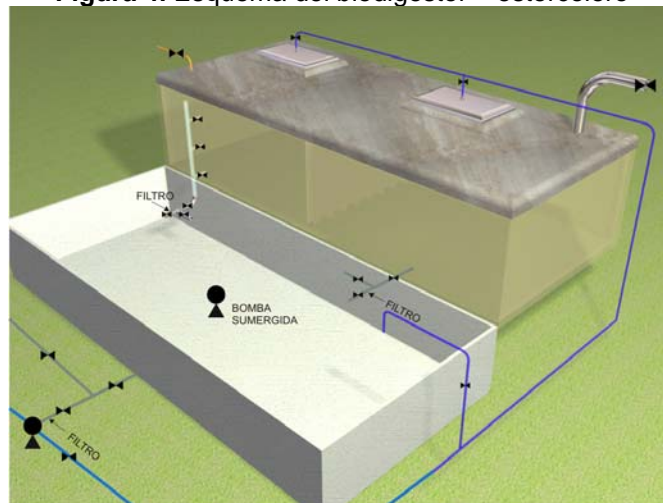
2.1 UBICACIÓN Y BASES DE CÁLCULO

Se ubica en la parte baja de la zona destinada a la porcicultura, con el fin de aprovechar la diferencia de altura para el transporte de las agua de lavado provenientes de la cochera. En la práctica la cochera esta dividida en dos secciones de iguales dimensiones; cada una, independientemente, conduce sus aguas de lavado hacia una pila que tiene facilidades para extraer de ella aguas con bajo contenido de sólidos suspendidos para riego, sólidos sedimentados que se utilizan como fertilizantes o bien mezcla de agua y sólidos en diferentes proporciones. Una de las salidas de la pila se conecta con la tubería de salida de la pila de la otra cochera y lleva el fluido hacia el biodigestor – estercolero.

Por las razones anteriormente descritas el flujo de entrada al biodigestor – estercolero puede ser controlado no solo en cantidad sino también en composición.

En cuanto al biodigestor – estercolero en sí, representado en las Figura 4 y Figura 5, se construyó con base en los cálculos presentados en la tabla Excel Anexo 2 y teniendo en cuenta las consideraciones consignadas en un documento destinado a soportar futuras propuestas de investigación¹⁵ artículos de revistas¹⁶ y ponencias en eventos internacionales¹⁷, que se consigna también en el Anexo C. Algunas de las consideraciones presentadas en dicho documento se consignan en la tabla 6.

Figura 4. Esquema del biodigestor – estercolero

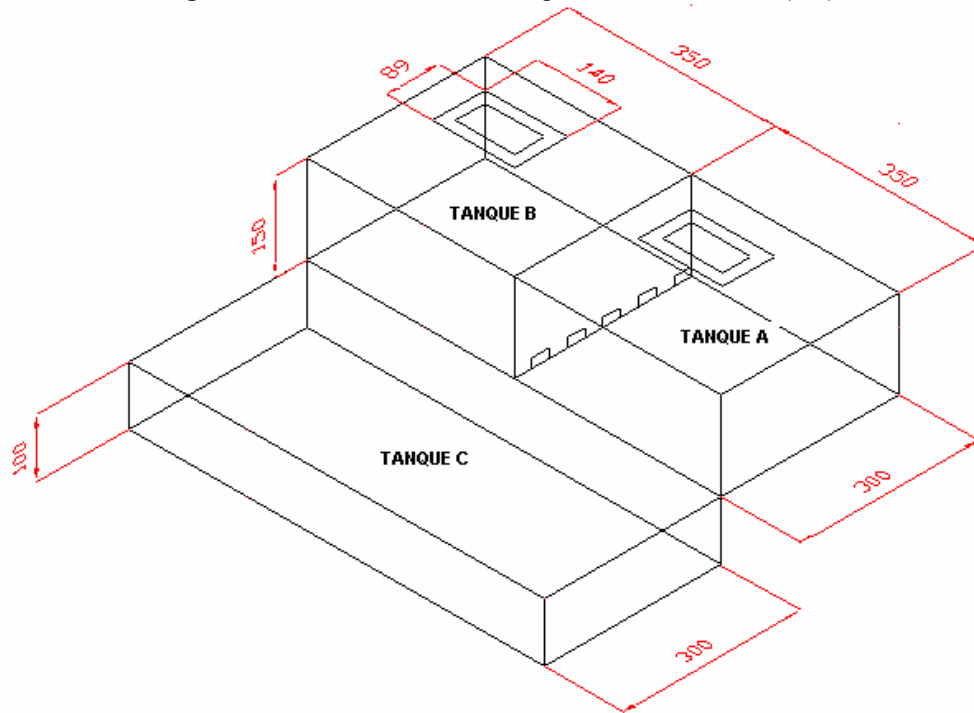


¹⁵ Se pretende un desarrollo tecnológico con base en investigación aplicada, utilizando el biodigestor – estercolero como sistema experimental, aislado o integrado con otros componentes de la granja integral. Los destinatarios de la propuesta potenciales son COLCIENCIAS, FOMIPYME, SENA (Fondo Emprender), Ministerio del Medio Ambiente, vivienda y Desarrollo Territorial (Línea SINA)

¹⁶ Se propondrá a Revista ION de la Escuela de Ingeniería Química de la UIS y a otras revistas especializadas en temas de biotecnología, manejo e residuos o similares.

¹⁷ Se está elaborando una ponencia para el IX Seminario Internacional de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, dentro del cual habrá un Simposio sobre Tratamiento de Residuos.

Figura 5. Dimensiones del biodigestor – estercolero (cm).



Como se puede ver¹⁸, se trata de un diseño no convencional por cuanto se combinan funciones de biodigestor con las de “Estercolero (sedimentación y separación de corrientes líquidas de las sólidas, con destino a uso como fertilizante) y para uso dentro del sistema productivo de la granja integral y a la vez como sistema de experimentación con propósitos de investigación. El enfoque multipropósito implica sobre costos o inversiones adicionales pero también generación de valores complementarios (conocimiento, entre otros).

2.2 OPERACIONES Y PROCESOS

En el sistema descrito ocurren reacciones secuencial y simultáneamente por la acción de las bacterias anaerobias como se describe en el Anexo D en el que además se presenta la secuencia de productos intermedios y los productos finales del sistema operando como biorreactor.

En términos de la operación hidráulica del sistema es pertinente mencionar algunos resultados de operarlo en diferentes condiciones. Para efectos de cálculo se parte de un dato de densidad¹⁹ de los sólidos secos de 400 kg/m^3 y se utiliza para determinar el volumen ocupado por ellos, secos o húmedos; es decir que no se tienen en cuenta expansiones o contracciones con el cambio de humedad. Por otra parte, para efectos de volumen de lechos de excretas en agua, se toma como límite de agua que

¹⁸ Sobre todo con la lectura del documento ya referido.

¹⁹ Diferentes fuentes reportan datos alrededor de este para excretas animales secas.

absorben los sólidos, la necesaria para que la densidad del sólido húmedo llegue a 950 kg/m^3 , equivalentes a una humedad máxima del 57,89%²⁰. Con estos supuestos el volumen ocupado por una determinada cantidad de sólidos secos, solo cambia cuando la humedad equivalente de una mezcla con agua, supera el 57,89%, es decir cuando el lecho se expande, por la presencia de agua adicional.

2.2.1 Operación actual.

Actualmente se opera en las condiciones descritas en el proyecto de porcicultura (el agua de lavado es la recomendada para producción más limpia, llevan el 5% de los sólidos y el 95% restante se retira previamente al lavado). En esas condiciones, como lo demuestran los cálculos de la [tabla Excel Anexo 2](#), se tienen 74,94 kg/día de sólidos secos con agua ya incorporada (30% de humedad) de 32,117 Kg/día, a lo cual se adiciona 4459, 86 Kg/día más de agua para un total de 4491,98 kg/día de agua.

En estas condiciones, manipulando la salida del agua por el fondo del tanque A (ver figura 5) con filtro, se puede escoger la humedad de los sólidos (que se retienen en su totalidad) desde una mínima de 30% (cercana a la de las excretas del cerdo) hasta una máxima que sería la equivalente de entrada del efluente del lavado (98,359% que corresponde a no retiro de agua y a tiempo de retención hidráulica igual al tiempo de retención de lodos). Los cálculos se pueden ver en la tabla Excel Anexo 2 e indican que los tiempos de residencia de los lodos, con llenado del volumen útil podrían variar desde algo más de 6 días hasta cerca de 146 días; se comprueba una vez más la extraordinaria versatilidad del sistema.

2.2.2 Operación como Biodigestor

Ahora bien, si se desea operar el sistema como biodigestor, las condiciones deseables²¹ para la temperatura del lugar de la granja (28 °C) son: i) relación máxima de excretas/agua retenidas igual a 1 e ideal de 0,1 (que equivalen a un intervalo de contenido de agua en la mezcla entre 65% y 93,64%), ii) tiempo de residencia biológica (25 días). Para efectos de volumen necesario la situación crítica es la de relación 0,1^[7].

En la misma tabla Excel Anexo 2 se hacen los cálculos para determinar que los volúmenes necesarios de bioreactor, máximos y mínimos, son respectivamente $43,31 \text{ m}^3$ y $7,176 \text{ m}^3$ incluyendo la cámara de gas que debe ser de 50% la ocupada por el sólido – líquido. El volumen disponible de $27,3 \text{ m}^3$, está sobrado para la relación 1 pero escasa para la relación 0,1. Los cálculos permiten mostrar que se puede obtener hasta una relación de 0,17 (sólidos húmedos/Líquido en Exceso), que es lo suficientemente baja para fines prácticos y el sistema da gran flexibilidad para usarlo como biodigestor^[3].

²⁰ Una vez más se toma un dato promedio de varios reportados en la literatura.

²¹ Fuente de información: Tesis De Grado de Ingeniería Mecánica;, Universidad Industrial de Santander. Autores: Martha Lucia Acevedo Vargas y Javier Villamizar Rangel. Bucaramanga. 1997.

Tabla 6. Consideraciones cualitativas para diseño del Biodigestor – Estercolero.

Factor Variable	Deseable para Doble Propósito	Logrado con Modelo de Doble Propósito
Tiempo de Residencia	Variable y Controlable	Variable y Controlable
Tiempo de arranque y estabilización	Bajo	Alto
Relación Agua/Sólidos	Variable y controlable	Variable y Controlable
Presencia de Aire	Anaeróbico, aeróbico	Anaeróbico y Aeróbico ²²
Frecuencia de Alimentación	Alta o baja, controlable	Alta o baja, controlable
Productos Utilizados	Biogás, Fertilizantes, Alimentos	Biogás, fertilizantes, alimentos
Sensibilidad o Susceptibilidad	Bajas, alto grado de resiliencia	Alta, bajo grado de resiliencia
Servicios Ambientales Directos	Ahorro de energía, control de olores y descargas líquidas, mejora de suelos	Ahorro de energía, control de olores y descargas líquidas, mejora de suelos
% de Residuos procesado	100	100
Destino típico de gases y vapores	Cocina, Calefacción, quema en teas	Cocina, Calefacción, quema en teas
Tratamiento de gases y/o vapores	Posible la Purificación y remoción de H ₂ S	Posible la Purificación y remoción de H ₂ S
Manejo Típico de Líquidos	Diferentes sistemas de riego.	Diferentes sistemas de riego.
Costo relativo para tratar todos los residuos	Bajo	Medio
Riesgo biológico De efluentes ²³	Bajo	Variable en función de variables operativas
Riesgos relacionados con seguridad industrial ²⁴	Relativamente bajos	Relativamente Altos
Capacitación de operadores	Relativamente Baja	Relativamente Baja

²² En los canales, en la pileta de descarga de los canales antes del tubo, si se desea se pueden dejar las tapas abiertas, el tanque complementario es abierto y en las caídas de las salidas de los estanques anaerobios hay aireación.

²³ Relacionados con microorganismos en los líquidos y sólidos finales

²⁴ Sobre todo por el manejo del gas: explosiones, incendios posibles.

2.2.3 Operación como Estercolero

Así mismo, si se opera el sistema solo como estercolero, destapando los tanques A y B y utilizando también el Tanque C se tiene un volumen de 48,3 m³, sin retirar sólidos de la cochera sino lavándolos en su totalidad, con el agua necesaria para que fluidice, se necesitarían 46 m³ para un tiempo de retención de 7 días²⁵ que es lo que se acostumbra (desocupar y bombear una vez por semana) y el volumen disponible permitiría un volumen de retención de 7,34 días. Se tiene entonces un margen de seguridad para este modo de operar.

Así mismo se podría, si se identificara algún motivo para ello, cambiar la cantidad de agua de lavado, aumentándola y tener menores tiempos de residencia con mezclas más fluidas.

2.3 BALANCES DE MASA Y ENERGÍA DE OPERACIÓN ACTUAL.

Actualmente²⁶ el balance de masa, en cuanto al gas generado, solo puede ser un estimativo aproximado. Para el agua y los residuos sólidos procesados puede ser preciso^[13].

Para estimar el gas se recurre a experiencias reportadas por la tesis de grado²⁷; en el modelo de operación actual, las bacterias se cultivan dentro del biodigestor a medida que se aumenta la cantidad de sólidos retenida que les sirve como sustrato. El volumen ocupado por los sólidos retenidos con relación sólidos húmedos / agua igual a 1 dejando el espacio recomendado para el gas es aproximadamente el total de los tanques A y B que es 27,3 m³. La analogía con el biodigestor de referencia permite suponer que la producción de biogás debe ser del orden de 8,19 m³ de biogás por día.

El porcentaje de metano contenido en el biogás obtenido a partir del estiércol de cerdo es aproximadamente 81%²⁸ y la densidad del biogás es en promedio 1,09 kg / m³²⁹. El flujo másico de metano producido es 7,230951 kg/día el cual lleva consigo 6,3271 kg/día de carbono extraído de la materia orgánica retenida dentro del biodigestor estercolero.

Con esto se calculan flujos aproximados: el flujo de abono con 57,89% de humedad que se produce por año es igual a 59 472,115 kg, la cantidad de biogás producida por año 8,93 kg y agua para riego 1 605 145,3 kg por año.³⁰

²⁵ Consagrado por experiencia.

²⁶ Mientras no se hagan mediciones e investigaciones.

²⁷ Universidad Industrial de Santander. Autores: Martha Lucia Acevedo Vargas y Javier Villamizar Rangel. Bucaramanga. 1997. donde se diseña un biodigestor anaerobio de 8 m³ de volumen total para producir 6 m³ por día de biogás. en esta experiencia se alimenta el biodigestor con una mezcla con relación de sólidos húmedos / agua igual a 1 la cual ocupa 5 m³. Al llevar lodos activados desde la PTAR de Bucaramanga y poner en marcha este biodigestor se obtuvo tan solo el 15% de producción de biogás con respecto a la de diseño. Cuando se cultivaron bacterias con los residuos sólidos de la finca y se implantaron dentro del biodigestor la producción alcanzó un 40% de la teórica.

²⁸ Revista de agroquímica y Tecnología de alimentos. Vol. 20. Número 2. p. 196.

²⁹ Planta de Biogás, diseño, Construcción y operación. p. 12.

³⁰ Datos que pueden variar significativamente si se altera el modo de operación del biodigestor estercolero.

2.4 ASPECTOS DE MERCADO, ADMINISTRATIVOS, FINANCIEROS Y EVALUACIÓN ECONÓMICA.

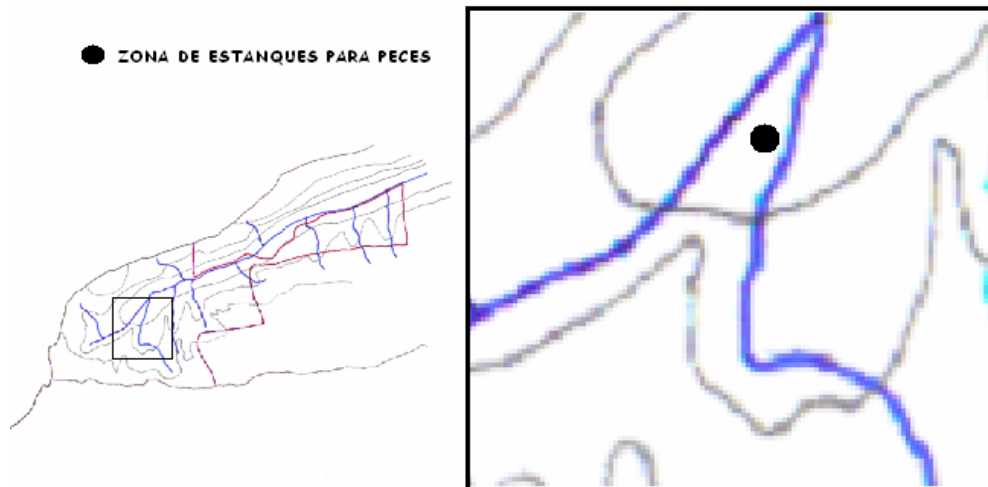
El biodigestor – estercolero, como proyecto de inversión forma parte del proyecto de porcicultura y por tanto lo relacionado con mercado, asuntos financieros y administrativos, se incluyen en el análisis de la cochera. No obstante, por razones que se cree se hacen evidentes con la lectura de lo expuesto anteriormente, se consideró oportuno el tratamiento técnico del biodigestor en forma independiente.

3. PISCICULTURA

3.1 UBICACIÓN Y BASES DE CÁLCULO

El proyecto de piscicultura se ubicará en una de las zonas más bajas del predio. La ubicación exacta se muestra en la Figura 6. Allí se podrían concentrar las corrientes de agua conocidas como: quebrada Sin Nombre, Sitio Viejo, Bocatoma y Ventarrón. En este bajo encontramos un terreno con pendiente inferior al 3%, como es recomendado en la literatura, y espacio suficiente para construir el número de estanques deseado. Las especies a cultivar son las tilapia roja y la cachama blanca, ya que poseen hábitos alimenticios omnívoros, factor muy importante en el contexto de una granja integral, y alta absorción de nutrientes, la cachama por ser un pez regional y la tilapia por su gran adaptación al medio además de su gran aceptación en el mercado.

Figura 6. Localización de estanques para peces en la finca.



Al considerar la posibilidad de implementar estanques de policultivo tilapia – cachama, se encontró que se necesitaban más estanques y de mayor tamaño, en comparación con monocultivos. Además, en la bibliografía se reportan tasas de conversión alimenticia menores y tiempo de cosecha más prolongados para el policultivo que para el monocultivo. Por esto, se planeó la implementación de estanques independientes para monocultivo de tilapia roja y cachama blanca.

La base de cálculo para cada monocultivo es el tamaño mínimo recomendado para un estanque de alevinos³¹ (300 m²), así como, el tiempo de residencia de alevinos y peces en los respectivos estanques; se tuvo en cuenta el tiempo necesario para limpieza y adecuación entre cohortes, pero buscando máxima utilización de modo que

³¹ Los libros impresos en México y España utilizan el plural “alevines”, para el singular ALEVINO, y es un hecho muy generalizado. En este informe se recurrió al rigor gramatical en cuanto correspondencia entre singular y plural.

ningún estanque esté ocioso por tiempos superiores al de mantenimiento y adecuación (máximo 3 días).

Para el caso de la cachama encontramos que su período como alevinos (entran con peso medio de 2 gramos) es aproximadamente ocho semanas y se recomienda una densidad de siembra de ocho alevinos por metro cuadrado. Al finalizar las ocho semanas el peso unitario aproximado es 55 gramos y la tasa de mortalidad en el peor de los casos es del veinte por ciento. Luego, los peces pasan a un nuevo estanque donde permanecen 17 semanas y se albergan con una densidad de siembra igual a tres por metro cuadrado obteniendo al finalizar este período un peso unitario de 538 gramos y, también, en el peor de los casos la mortalidad es del 10%, con relación a los que entran en esta etapa. En este momento se cosechan y benefician y los estanques tienen un tiempo de una semana y media para desocuparlos, limpiarlos, mantenimiento de canales, abonado y nuevo llenado. Este proyecto y el de tilapia, fueron simulados día a día en el [tabla Excel Anexo 3](#), utilizando las tasas de mortalidad pesimistas³² para el cálculo de las cosechas (y por tanto de ingresos), comida y en general para los balances financieros, y las optimistas (0%) para el cálculo del número de estanques y sus áreas³³, de modo que bajo ninguna circunstancia se superen las densidades de siembra recomendadas en la literatura. De la tabla Excel Anexo 3 extraemos que para un máximo aprovechamiento se deberán construir dos estanques de alevinos de 400 m² cada uno y cuatro estanques de 1067 m² con una profundidad de 1,5 m (valor recomendado en la literatura y confirmado en la práctica piscícola, para todo estanque de monocultivo). El volumen total de agua sería 7602 m³ y el recambio de agua del 15% diario (el mínimo recomendado para estanques de monocultivo de cualquier especie es del 10%), lo que hace necesario un caudal de 1140,3 m³/día. Las cosechas serán de 1240 kg aproximadamente cada cuatro semanas y seis días^[16,29].

La tilapia, en cambio, posee tres etapas, la primera de alevinos, la segunda juvenil y por último una etapa adulta. En la primera etapa los peces se siembran con una densidad de cuarenta peces por metro cuadrado (peso promedio inicial de 2 gramos) y permanecen en los estanques de alevinos (300 m²) diez semanas, período en el cual alcanzan un peso unitario promedio de veinte gramos. Al igual que en la cachama se consideran para la evaluación del proyecto las mortalidades más altas, es decir, en los alevinos veinte por ciento. En la etapa juvenil la densidad de siembra recomendada es doce peces por metro cuadrado, por esto son trasladados a estanques de mayor área (1000 m²). En los estanques para juveniles los peces duran catorce semanas, tiempo en el cual alcanzan un peso unitario promedio de 150 gramos y en el caso pesimista hay una tasa de mortalidad para este período del diez por ciento. Por último los peces, ya convertidos en adultos son trasladados a estanques de 2000 m² donde se siembran con una densidad de 3 peces por metro cuadrado, permanecen en estos estanques catorce semanas más y alcanzan un peso promedio unitario de 470,4 gramos. Para esta última etapa la mortalidad máxima es tan solo del tres por ciento. El tiempo para adecuación de los estanques es igual a una semana y media. Después de realizar los cálculos de tiempos de residencia en cada tipo de estanque (ver tabla Excel Anexo 3), se encuentra³⁴ que el número de estanques por construir para este proyecto son tres de alevinos, cuatro para juveniles y ocho para adultos, todos con una profundidad de 1,5 metros^[15]. Esto da un volumen

³² Orientación conservadora para finanzas.

³³ Enfoque de condiciones críticas o más exigentes en el contexto de diseño e instalaciones.

³⁴ Como se explico, con mínimas mortalidades.

total de agua igual a 31350 m³, que necesita para un recambio del 15% diario 4702,5 m³/día y produce unas cosechas de 3942,4 kg cada cuatro semanas³⁵.

La metodología empleada para la medición de los caudales consiste en buscar y medir la longitud de un tramo donde el ancho y la profundidad sean aproximadamente constantes, tanto en el verano como en el invierno para hacer medidas comparativas. Se arroja una hoja seca o cualquier objeto flotante aguas arriba del tramo y se mide el tiempo que tarda el objeto en recorrer la distancia medida (se recomienda repetir esto por lo menos 3 veces para promediar y evaluar la repetibilidad del experimento). Con los datos de profundidad, anchura y distancia se calcula un volumen que dividido por el tiempo promedio medido da una excelente aproximación del caudal de la corriente.

Utilizando esta metodología, al final del verano y en un día de fuerte invierno, se obtuvieron los caudales registrados en la Tabla 7, llevados a flujo diario con los correspondientes factores de conversión. Se añaden a la tabla otros datos de distancias y alturas (máximas y mínimas) medidas, desde el sitio de bocatoma hasta el sitio de estanques, correspondientes respectivamente a las alternativas de localización de las bocatomas: máximas distancia y altura corresponden a localizar las bocatomas cerca de donde nacen los caudales y las mínimas corresponden a localizar las bocatomas en los puntos donde termina la pendiente y se inicia el valle donde se localizan los estanques. Inicialmente se construirán y operarán los estanques y sistemas alimentadores de agua con las distancias y alturas mínimas, motivado por muy significativos ahorros en canales o tubos para el agua, pero en caso de identificar necesidades o ventajas que lo justifiquen, se aprovecharán los desniveles mayores para alimentar desde lo alto el agua y maximizar la oxigenación y la estética de la instalación.

Tabla 7. Información sobre flujos y distancias de fuentes de agua.

Nombre³⁶	Flujo mínimo (m³ / día)	Flujo Máximo (m³/día)	Distancia Máxima Bocatoma-Estanque (m)	Altura Máxima (m)	Distancia Mínima Bocatoma-Estanque (m)	Altura Mínima (m)
Sin Nombre ³⁷	2160,00	108000,000	200	4	100	2
Sitio Viejo	5425,83	65110,048	600	10	50	1
Bocatoma ³⁸	788,081	5516,570	600	8	600	8
Ventarrón	2649,12	79473,651	800	8	500	8

Al comparar los flujos de agua necesarios para los estanques piscícolas (5842,800 m³/día) se puede concluir que los dos primeros caudales de la finca son suficientes, aún con el suministro mínimo de verano (suman 7585,837 m³/día) y aún dejando un

³⁵ Obsérvese que es mayor la frecuencia de venta de tilapia,

³⁶ El orden corresponde al de localización aguas abajo.

³⁷ Es la corriente principal que recoge las demás pero la medición se tomó antes del punto de encuentro.

³⁸ Corriente de donde se toma el agua para la casa, la cochera, la vaquera, los galpones, el centro de preparación de alimentos, el biodigestor y los sistemas de riego.

amplio margen de seguridad para las necesidades de oxigenación, evaporación y filtración por el fondo. Este último factor merece una consideración especial, por cuanto el terreno donde se localizan los estanques es arenoso y por tanto poroso y de fácil drenaje; no obstante, como compensación se tienen niveles freáticos altos (máximo 4 metros por debajo del fondo de los estanques), de manera que en el peor de los casos se tendrá una infiltración y pérdida inicial significativa, cuando se inicie la operación del estanque, para saturar el terreno bajo el fondo, pero una vez mojada la capa que separa del nivel freático, serán mínimos los gradientes de humedad que impulsen las pérdidas de agua; por otra parte, se tiene siempre el recurso de cubrir con plásticos y/o capas de suelo arcilloso, el fondo de los estanques.

Las consideraciones anteriores se utilizaron para el diseño y localización de estanques y bocatomas y sobretodo para los sistemas de captación y conducción del agua, de manera que en verano se dirijan a los estanques los caudales completos y durante el invierno, por lo menos el equivalente al mínimo de verano.

3.2 DIAGRAMA DE FLUJO – EQUIPOS, OPERACIONES Y PROCESOS

Tanto la tilapia como la cachama son especies aptas para el cultivo en aguas lénticas, pero para un óptimo rendimiento hay que monitorear y controlar diversos parámetros en el agua. El oxígeno disuelto, es el requerimiento más importante, al igual que la temperatura, para el cultivo de especies hidrobiológicas. Su grado de saturación es inversamente proporcional a la altitud y directamente proporcional a la temperatura y el pH. El rango de oxígeno disuelto óptimo está por encima de cuatro partes por millón medido en la estructura de salida del estanque y el rango óptimo de pH está entre 6.5 y 9. Como se había mencionado anteriormente, el oxígeno disuelto se controla por medio del recambio de agua, el cual debe ser mínimo del 10% diario, y el análisis de aguas dice que las aguas a utilizar presentan un pH neutro.

Los peces son animales poiquiloterms (su temperatura corporal depende de la temperatura del agua) y altamente termofílicos (dependientes y sensibles a los cambios de temperatura). El rango óptimo de temperatura para el cultivo de estas especies fluctúa entre 24° C y 32° C (temperatura ambiente), con variaciones inferiores a 5 °C. La temperatura media de Sabana de torres es 28° C y sus temperaturas máximas y mínimas son 33° C y 24° C respectivamente.

El amonio es un producto en la secreción de los peces, la orina y la descomposición de la materia orgánica, que en la forma no ionizada resulta tóxico. Su toxicidad aumenta con una baja concentración de oxígeno, un pH alto (en valores de pH bajos no causa mortalidades) y una temperatura alta. Se puede controlar su nivel con medidas como; secar estanques y encalar (esto dependiendo del pH), adicionar algunos fertilizantes inorgánicos o implementar aireación (o en su defecto aumentar el recambio de agua).

Otros factores a controlar en el agua de los estanques destinados para cultivo son los señalados en la Tabla 8.

Aplicando la metodología de análisis y síntesis de procesos al proyecto de piscicultura, el conjunto de estanques se considera como un complejo industrial conformado por varias plantas (cada uno de los estanques) individuales e interconectadas por la red de servicios industriales (agua). Cada planta individual (estanque) se conforma por un

conjunto de pequeñas plantas industriales (peces y zooplancton) cuya finalidad es producir carne. La descripción de las reacciones y transformaciones ocurridas dentro de los peces se describe globalmente en el Anexo E^[6,9].

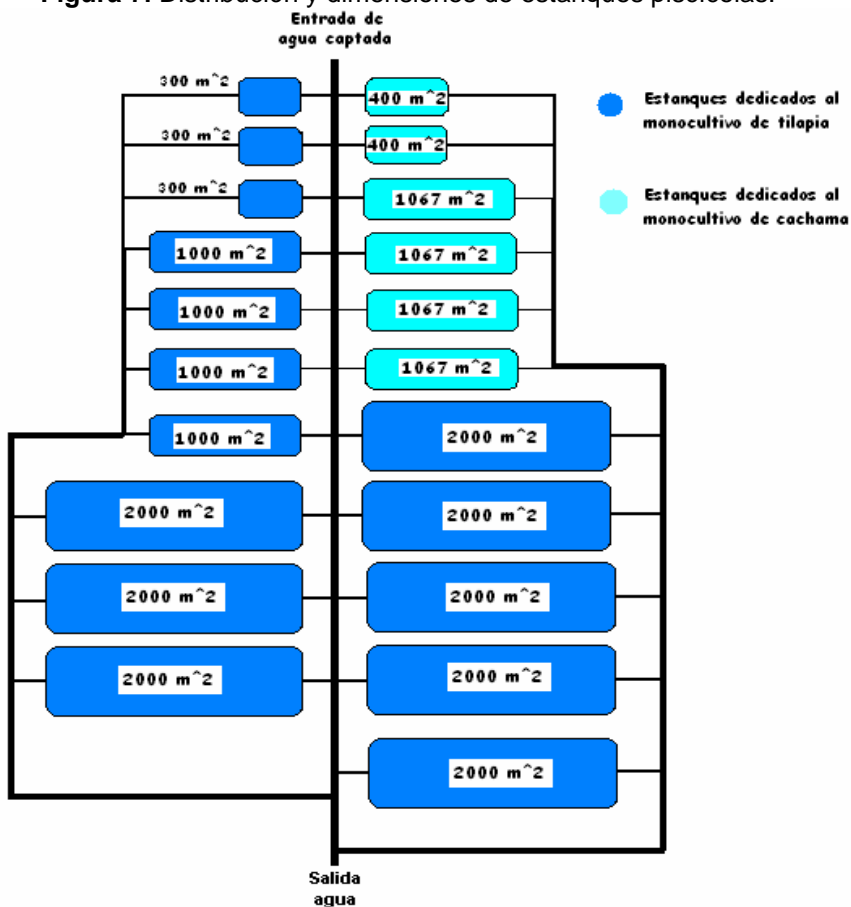
Tabla 8. Requerimientos de calidad de agua para estanques piscícolas.

Contaminante o nutriente	Rango de Concentraciones
Nitritos	menor a 0,1 ppm
Alcalinidad	mayor a 20 ppm
Dióxido de Carbono	menor a 20 ppm
Sulfuro de Hidrógeno	menor a 10 ppm
Ácido Cianhídrico	menor a 10 ppm
Gas Metano	menor a 25 ppm
Sólidos en Suspensión	25 – 100 mg / l
Fosfatos	0.6 – 1.5 ppm
Cloruros	menor a 10 ppm
Sulfatos	menor a 18 ppm

Fuente. [29]

Un esquema de la distribución en planta se muestra en la Figura 7.

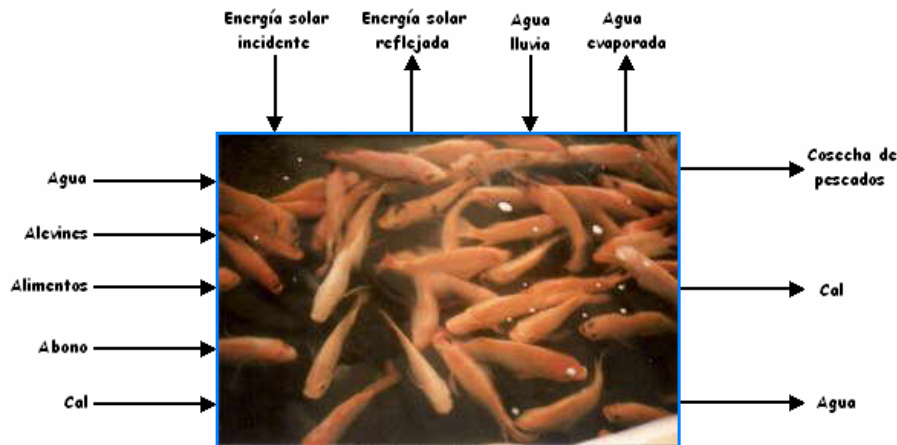
Figura 7. Distribución y dimensiones de estanques piscícolas.



3.3 BALANCES DE MASA Y ENERGÍA.

Los flujos de masa y energía que entran y salen del conjunto de estanques se muestran en la Figura 8, dónde solo se tienen en cuenta las corrientes de magnitud considerable.

Figura 8. Flujos de masa y energía de estanques piscícolas.



3.3.1 Flujos Relacionados con el Mercado.

3.3.1.1 Flujo de Alimentos.

El flujo de alimentos varía en el tiempo. Esto porque la cantidad, frecuencia y tipo de alimento depende de la etapa y peso del pez. Para la etapa de alevinos las dosis recomendadas para un concentrado con 40% de proteínas son las que se muestran en la Tabla 9 para la cachama y las de la Tabla 10 para la tilapia.

Cuando la tilapia alcanza su edad juvenil, debe ser alimentada con un concentrado 30% proteína, al igual que la cachama en la segunda y última etapa. Las cantidades se especifican en las Tabla 11 para la cachama y Tabla 12 para la tilapia.

En la etapa adulta la tilapia se alimenta con un concentrado compuesto 25 % de proteína y en cantidades que vienen consignadas en la Tabla 13.

Tabla 9. Dietas y pesos de cachamas alevinos en función de la edad.

# de días del cultivo	Peso promedio esperado por ejemplar (g)	Tasa diaria de alimentación (%biomasa)	# Comidas diarias
7	7	8,9	4
14	14	7,6	4
28	26	5,5	4
42	40	4,6	4
56	55	4,1	4

Fuente. [16]

Tabla 10. Dietas y pesos de tilapia alevinos en función de la edad.

Semana #	Peso unitario (g)	Alimento diaria (%biomasa)	Número de comidas por día
0	2	8	4
1	2,517955293	7,6	4
2	3,170049429	7,2	4
3	3,99102137	6,8	4
4	5,024606692	6,4	4
5	6,325867508	6	4
6	7,964125787	5,6	4
7	10,02665634	5,2	4
8	12,6233362	4,8	4
9	15,8924981	4,4	4
10	20	4	4

Fuente. [15]

Tabla 11. Dietas y pesos de cachamas de levante en función de la edad.

Días de cultivo	Peso unitario (g)	Tasa diaria de alimentación (% biomasa)	Número de comidas por día
70	91	3,7	2
84	139	3,4	2
98	190	3,1	2
112	246	2,8	2
126	305	2,4	2
140	368	2,1	2
154	433	1,8	2
168	503	1,7	2

Fuente. [16]

Tabla 12. Dietas y pesos de tilapias de levante en función de la edad.

Semana	Peso unitario (g)	Tasa diaria de alimentación (% biomasa)	# de comidas por día
11	23,09052246	3,964	4
12	26,66421089	3,928	4
13	30,79099417	3,892	4
14	35,55647403	3,856	4
15	41,05950065	3,82	4
16	47,41422315	3,784	4
17	54,75245731	3,748	4
18	63,22641989	3,712	4
19	73,01188602	3,676	4
20	84,31183529	3,64	4
21	97,36066219	3,604	4
22	112,4290381	3,568	4
23	129,8295258	3,532	4
24	150	3,5	4

Fuente. [15]

Tabla 13. Dietas y pesos de tilapias de ceiba en función de la edad.

Semana	Peso unitario (g)	Tasa diaria de alimentación (%biomasa)	# Comidas por día
25	162,6317821	3	2
26	176,4766618	3	2
27	191,5001592	3	2
28	207,8026102	3	2
29	225,4928926	3	2
30	244,6891525	3	2
31	265,5195944	3	2
32	288,1233364	3	2
33	312,65134	3	2
34	339,2674179	2	2
35	368,1493285	2	2
36	399,4899625	2	2
37	433,4986317	2	2
38	470,4024664	2	2

Fuente. [15]

Con base en los datos de las tablas anteriores y en la evolución de los peces, se calculan los flujos diarios de alimento que se muestran en la tabla Excel Anexo3 para los dos primeros años del proyecto. En el primer año los flujos van en aumento hasta alcanzar valores que aunque no son estables tienden a un comportamiento cíclico que se mantiene en los años posteriores del proyecto, de manera que los el flujo de alimento anual promedio se mantiene constante e igual al del segundo año. Por esto, en el balance de masa se consigna el gasto de alimentos del segundo año 168 893,49 kg. La distribución según la concentración está en el anexo referido y así se puede proceder a los flujos económicos.

3.3.1.2 Flujo de Alevines.

La actividad de cría de alevines, requiere mayores esfuerzos y adecuaciones especiales. Se prefiere comprar los alevines de dos gramos, ya sexados (todos deben ser machos para la ceiba, porque de lo contrario se producen crías y el rendimiento disminuye) que se compran a los criaderos especializados. El flujo de ingreso promedio por año es 409,6 kg por año.

3.3.1.3 Flujo de Pescados Beneficiados y Vísceras.

La cosecha en el año uno es 23 206,71 kg, mientras que en los años siguientes, cuando se estabiliza el sistema en términos anuales, se espera sea 68 827,96 kg de peces por año.

De la cosecha entre el 0,8% y el 1% son vísceras que se extraen durante el beneficio de los peces y se llevan a la planta de preparación de alimentos, lo que corresponde a 688,2 Kg/año y el 99% es transportado y vendido en Bucaramanga como pescado, lo que equivale a 68139,7 Kg/año.

3.3.2 Flujos relacionados con el Acondicionamiento de Estanques.

Mediante la fertilización con abonos orgánicos, se aporta al estanque elementos requeridos para incrementar en forma constante la productividad natural, alimentando los ciclos biológicos y químicos con elementos como el fósforo y el nitrógeno. La dosis de fertilizante orgánico proveniente del biodigestor recomendada es 150 g / m² y la frecuencia de fertilización es mensual (también se fertilizan los estanques en mantenimiento antes del llenado), lo que hace que el flujo másico de abono (para el año dos en adelante, donde todos los estanques están en uso permanente) sea aproximadamente 46 742,4 kg por año^[5].

Como se había mencionado antes el nivel de amonio del estanque se puede controlar por medio del pH (manteniendo un pH alcalino), y la forma recomendada para controlarlo es secar y encalar estanques antes de cada siembra. La cal se aplica sobre el suelo seco del estanque, se le agrega un poco de agua y se deja unas hora para que reaccione. Esta agua se retira para eliminar el exceso de cal y luego se abona y se llena con agua para la siembra. Para suelos con pH de 5 la dosis que se recomienda es 1500 g / m². Para el segundo año se estima que la corriente de cal será 20 385,9 kg por año^[29].

3.3.3 Flujos entre Componentes del Ambiente.

3.3.3.1 Flujo de Energía Solar Incidente y Reflejada^[34,42].

En la [tabla Excel Anexo 4](#) se registran datos solarimétricos tomados en distintas fechas comprendidas entre el 1997 y 2000³⁹. Con estos datos se calculan promedios anuales para cada hora del día (mostrados en la [tabla Excel Anexo 5](#)); al sumar estos promedios se obtiene la radiación solar promedio diaria incidente 4123,14 W h / m², que equivale a 140 689 576 279,98 kJ por año. Parte de esta radiación es absorbida y parte es reflejada por el agua. La relación entre la energía reflejada y la energía incidente se conoce como albedo, que en el caso de lagos y estanques depende del ángulo con que llegue el rayo incidente. En la Tabla 14 se muestran los valores del albedo a cada hora del día.

Con el albedo y la radiación solar incidente promedio de cada hora se calcula la cantidad de energía reflejada y la cantidad de energía absorbida (incidente menos reflejada), que finalmente influirá en la temperatura del agua y la evaporación de la misma. La energía reflejada es 6 474 532 644,2 kJ por año y la absorbida 134 215 043 635,78 kJ por año que hace que la temperatura media del agua sea 20 °C.

3.3.3.2 Flujos de Agua.

Los flujos de agua son variables a lo largo del año pero los balances que se presentan a continuación son anuales y para hacerlos se considera que los flujos aportados por

³⁹ Tomados de la estación meteorológica de Barrancabermeja (operada y administrada por IDEAM) que es la más cercana y la más representativa de la zona del proyecto. No se cuenta con datos de mayor tradición y esto constituye una limitación que se puede superar haciendo un seguimiento de los datos en el futuro y eventualmente con la creación y funcionamiento de otras estaciones más cercana.

los estanques al año corresponden al flujo del momento crítico del verano, lo que podría corresponder o acercarse a la realidad, controlando el flujo de entrada a las bocatomas de los estanques durante el período de lluvias. Si hay excedentes de agua con respecto a los tomados para los balances, solo pueden favorecer la piscicultura.

Tabla 14. Variación del albedo de los estanques de acuerdo a la hora.

Hora	Albedo
00:00:00	89,6
01:00:00	58,6
02:00:00	58,6
03:00:00	35
04:00:00	35
05:00:00	13,6
06:00:00	13,6
07:00:00	6,2
08:00:00	6,2
09:00:00	3,5
10:00:00	3,5
11:00:00	2,5
12:00:00	2,5
13:00:00	3,5
14:00:00	3,5
15:00:00	6,2
16:00:00	6,2
17:00:00	13,6
18:00:00	13,6
19:00:00	35
20:00:00	35
21:00:00	58,6
22:00:00	58,6
23:00:00	89,6

Fuente. <http://agronomia.uchile.cl/extension/explora2003/files/Cu%EDa%2013.pdf>

El agua evaporada por la energía solar^[18,28] absorbida que se acaba de calcular es de 54 687 899,78 kg de agua por año⁴⁰. Como se estableció anteriormente, el flujo de agua de verano que viene de los nacimientos del predio es igual a 5842,8 m³ por día, que equivale a 2 132 622 000 kg por año. El promedio de lluvias anual en la zona es 2687 mm, que traducido a flujo másico mediante el área de los estanques es 74 450 256 kg de aguas lluvias por año que entran a los estanques. La corriente de agua de salida se calcula como la diferencia entre la suma de la entradas de aguas lluvias y las

⁴⁰ Calculada con el calor latente de vaporización a 20 °C y la presión atmosférica de la zona. Se considera que la temperatura de la interfase es cercana a la del agua y por tanto que no hay calor sensible de calentamiento del agua; no se considera que la energía solar aporte directamente el calor de sobrecalentamiento del vapor de agua hasta la temperatura ambiente de la atmósfera, sino que dicho calor es aportado por el aire circundante.

de canal, con la que se evapora, de modo que salen del estanque 2 152 384 356,22 kg por año en estado líquido.

3.3.4 Balance Global.

Por no disponer de la información suficiente, no se afronta en el contexto de este proyecto lo referente a los balances internos en las interfases peces – agua, peces – fondo de estanques, agua – fondo de estanques que podrían repercutir en la concentración del agua a la salida, sobretodo en cuanto a oxígeno; tampoco se intenta el balance de oxígeno ni de CO₂ en la interfase agua – atmósfera.

Teniendo en cuenta los balances de las corrientes que sí se calcularon se llega a un flujo total de masa que entra es 2 207 308 684,18 kg por año y lo que sale 2 207 161 469,85 kg por año. Las diferencias que equivalen al 0,00667% con relación a las entradas totales (pero a un 62,27% de lo que entra si se descuenta el agua a un 87,16% con respecto al alimento), se atribuyen precisamente a las corrientes no tenidas en cuenta, como, por ejemplo las pérdidas de carbono a causa de la respiración tanto de los peces como de los microorganismos, a las heces producidas por los peces, entre otros flujos no tenidos en cuenta que salen con el agua.

3.4 ASPECTOS TÉCNICOS COMPLEMENTARIOS.

Las dimensiones de cada estanque se especifican en la Tabla 15.

Tabla 15. Dimensiones de los estanques por construir.

	Largo (m)	Ancho (m)	Profundo (m)
Estanques de alevines para tilapia	20	15	1,5
Estanques de juveniles para tilapia	66,67	15	1,5
Estanques de adultos para tilapia	100	20	1,5
Estanques de alevines para cachama	26,7	15	1,5
Estanques de adultos para cachama	71,13	15	1,5

Las dimensiones de separación, longitud del tramo de entrada y salida de cada estanque, entre otras dimensiones se muestran en la Figura 9. La longitud total de canales por construir es 1 247 m, además de los 800 m de canal para conducir el agua desde los nacimientos hasta la red de distribución de los estanques y los 50 m para llevar las aguas de nuevo a la quebrada Sin Nombre.

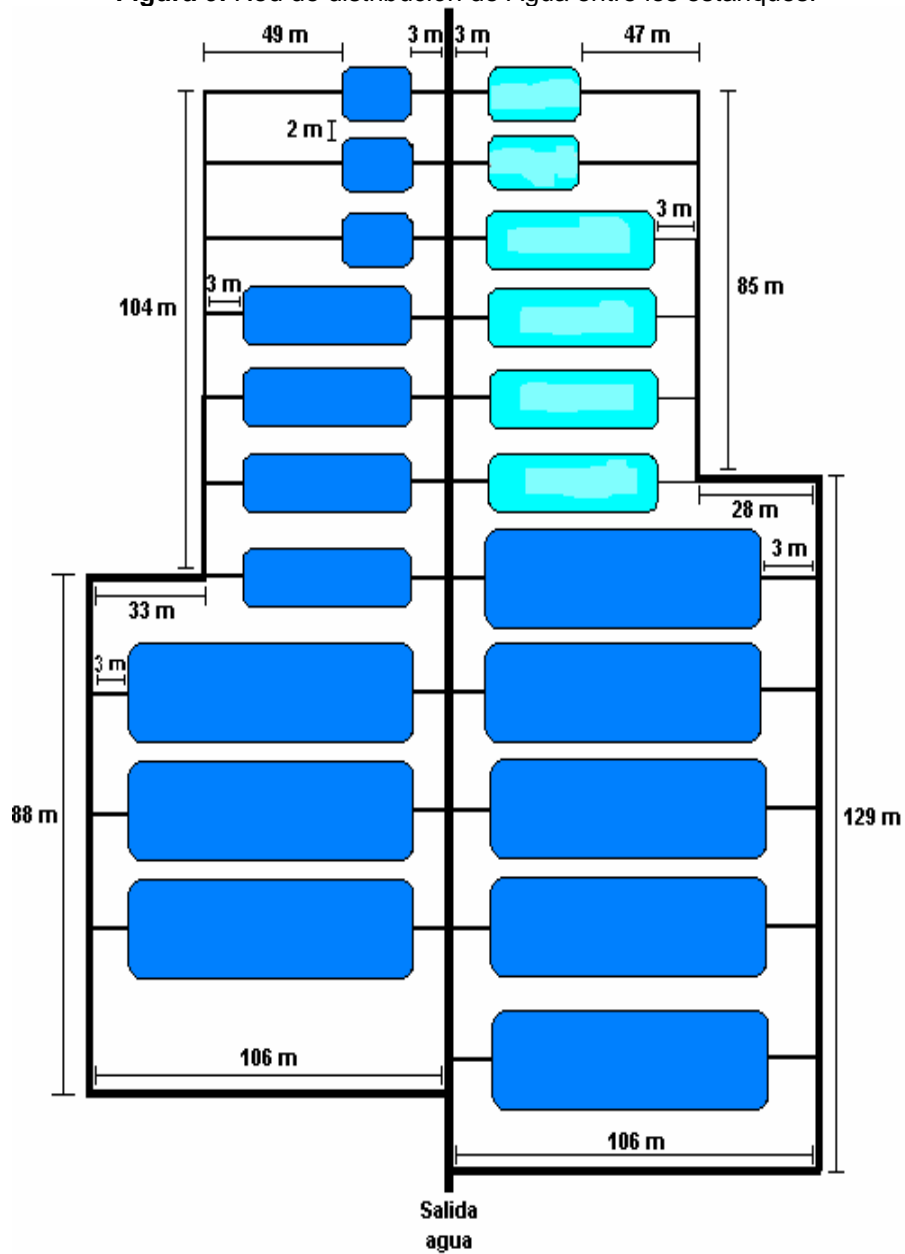
3.5 ASPECTOS ADMINISTRATIVOS.

El personal de dedicación exclusiva a los peces se reduce a dos operarios y a continuación se describen sus funciones. Las actividades diarias a realizar por el operario en el cultivo son:

- ✿ Alimentación: es indispensable para el rendimiento económico que se suministre la cantidad estipulada. Es recomendable suministrar el alimento en la orilla de salida (desagüe) y en uno de los lados, con el fin de sacar la mayor cantidad de heces en el momento de la alimentación.
- ✿ Observación de los peces al comer: apetito, anoxia, piqueo, textura y palatabilidad del alimento. Estos factores pueden ser señales de alguna enfermedad o falla en el concentrado utilizado.

- ✳ Limpieza de anegotes, mallas y filtros, así como la eliminación de predadores aéreos y terrestres.
- ✳ Chequeo de las estructuras de entrada y salida.
- ✳ Observar la turbidez de los estanques.
- ✳ Anotar la mortalidad diaria y llevarla a los registros.

Figura 9. Red de distribución de Agua entre los estanques.



Las actividades mensuales son:

- ✳ Control de hierbas y malezas.

- ✳ Revisión externa de peces para detectar algún problema de bacteriosis o ectoparásitos.
- ✳ Revisión interna: mirar el tracto digestivo para observar el consumo de alimento, coloración de branquias y coloración del hígado.
- ✳ Consolidar información: incrementos gramos por día, conversión mensual, consumo total de alimento y conversiones parciales.
- ✳ Revisión minuciosa de tuberías de entrada y salida, y sistemas de conducción.
- ✳ Monitorear parámetros fisicoquímicos como dureza, pH, y amonio.

En cuanto al personal de dedicación compartida, en el capítulo 6, se menciona lo pertinente a él. Es necesario, como se hace a continuación, definir las funciones relacionadas explícitamente con peces que deben ser cumplidas por personal compartido. Estas actividades son las de cosecha y luego de la cosecha:

- ✳ Recoger la cosecha y retirar las vísceras.
- ✳ Limpiar los excesos de materia orgánica y eliminar predadores y huevos enquistados en el fondo de los estanques.
- ✳ Efectuar mantenimiento de las estructuras de entrada y salida del agua.
- ✳ Dejar el estanque por lo menos 5 días al sol.
- ✳ Encalar el fondo del estanque: llenar durante unas horas para que la cal reaccione con el agua y vaciar nuevamente para lavar el exceso de cal.
- ✳ Fertilizar y llenar.
- ✳ Chequear parámetros fisicoquímicos antes de la siembra.

3.6 ASPECTOS DE MERCADO.

Los productos del proyecto peces son tilapias y cachamas de peso promedio, respectivamente, 470 g y 538 g, desviscerados pero sin retirar escamas ni agallas, por costumbres del mercado, real o aparente función de conservación del producto.

Los precios de cachama y tilapia, de las características anteriormente descritas son iguales y su valor promedio para el año 2006 ha sido 2500 \$/lb⁴¹, puesto en Bucaramanga. Se considera que la evolución del precio a través del tiempo estará ligada con la inflación.

En cuanto al sistema de mercadeo, dada la tradición del agente económico del proyecto, se tendrá como comprador de la totalidad cosecha a la firma Mercadefam S.A. quien lo distribuye en sus supermercados. Como alternativas de cliente de destino se tiene a distribuidores minoristas de la Plaza de Mercado del municipio de Sabana de Torres o mayoristas de la ciudad de Santafé de Bogotá.

No se considera necesario fuertes acciones de promoción, publicidad o propaganda, con excepción de una delicada y permanente negociación y buenas relaciones con Mercadefam S.A.

3.7 ASPECTOS FINANCIEROS.

Para el análisis financiero (y posterior evaluación económica) del proyecto de piscicultura se estudió primero el escenario pesimista que tiene mortalidades máximas y precios mínimos del pescado en Bucaramanga. El otro escenario evaluado fue el

⁴¹ De 500 gramos.

escenario más probable donde hay mortalidades medias y el precio del pescado en Bucaramanga es el promedio del 2006. El tiempo de vida útil del proyecto se tomó de 15 años a pesar que la experiencia demuestra que es superior.

Para cada uno de los casos se realizó la matriz de análisis de costos, análisis de ingresos, cálculo de la inversión fija, cálculo de la inversión de trabajo y flujo de fondos a través del tiempo, que se presentan en la tabla Excel Anexo 3.

En cuanto a la inversión fija el componente principal son los estanques, para los cuales, con base en lo ya reportado se calculó un volumen de tierra que se debe remover de 38953 m³ para los estanques y de 7339,5 m³ para los canales. Su valor se calcula mediante la tabla Excel anexo 3, con base en un contrato real⁴², con una retroexcavadora real⁴³, para el terreno real de la obra⁴⁴ y el tiempo estimado real con base en la capacidad de la máquina, en la misma tabla se presenta el cálculo de la inversión de trabajo, cuyo principal componente es el inventario medio de peces (también cuenta el inventario de alimentos y otros inventarios).

3.8 EVALUACIÓN ECONÓMICA.

La parte final de la matriz en la tabla Excel anexo 3, permite manipulaciones de múltiples variables y determinar así los resultados de la evaluación económica del proyecto, cuyo resumen se consigna en la Tabla 16.

La tasa interna de retorno para el escenario probable cuando no se suma el valor de los estanques en el valor de salvamento es 139,28 %, esto indica que aún en el caso en que hay que reponer la construcción de los estanques el proyecto resulta altamente rentable. El proyecto es tan rentable que permitiría la reconstrucción de los estanques cada año.

Tabla 16. Resumen de resultados de evaluación económica de piscicultura.

Indicador	Pesimista	Probable
Inversión total (\$)	142 682 762,02	122 438 319,64
Valor presente neto a los 10 años (\$)	75 113 529,14	820 811 098,18
Valor presente neto a los 15 años (\$)	108 501 845,94	1 010 637 364
Tiempo de recuperación de la inversión (años)	3	menos de 1
Tasa interna de retorno (%)	37,1	215,665

⁴² Para este tipo de contratos las variables principales son el modelo de la máquina (volumen de la cuchara, alcance del brazo, número de cucharadas con operador de media capacidad), el número total de horas contratado, las condiciones del terreno topografía, estabilidad, humedad, dureza, etc), la distancia del viaje desde el origen de la máquina, las horas de Stan By (mínimo de horas por mes que se cobran, se trabajen o no), entre otros.

⁴³ Caterpillar 220 , modelo 2002, llevada desde San Alberto pero de empresa de Bogotá, de cuchara de 1 m³

⁴⁴ Fácil acceso, plano, seco, sin riesgos, arenoso, de fácil trabajo.

4. PALMICULTURA.

4.1 UBICACIÓN Y BASES DE CÁLCULO.

Actualmente en la finca La Sierra hay sembradas 10 Ha de palma africana. Este cultivo tiene 6 años de edad y está produciendo racimos desde hace ya un año. Se tiene como proyecto sembrar otras 10 Ha para tener la libertad y no la necesidad de tener que comprarle racimos a los vecinos, como se viene haciendo actualmente.

La ubicación del cultivo actual es junto a la casa. La casa de habitación de la finca se localiza prácticamente en la zona centro – nororiental (ver Figura 1) y en ese punto específico las coordenadas de georeferenciación son: 7° - 27' - 21,2" de latitud norte, 73° - 39' - 46,7 "de longitud este y 128 m de ASNM. Por conveniencia en cuanto al manejo del cultivo, las nuevas 10 Ha a sembrar se localizarán junto a las ya sembradas, de esta manera el cultivo de 20 Ha estará también cerca del centro de preparación de alimentos y de su lugar de destino final, la cochera y la vaquera.

La densidad de siembra que se recomienda por Ha es de 143 palmas, por consiguiente en total se tendrán sembradas 2860 palmas distribuidas en las 20 Ha de cultivo que producirán un mínimo de 457600 kg de racimos por año^[1,8].

4.2 DIAGRAMA DE FLUJO – EQUIPOS, OPERACIONES Y PROCESOS^[1,32].

Altas temperaturas, abundantes lluvias y gran iluminación son los tres requerimientos fundamentales de la palma africana de aceite.

Para el buen crecimiento y abundante fructificación se considera necesario un mínimo de 1700 mm de lluvia por año. En casos de una repartición excepcionalmente uniforme de las lluvias durante el año, 1400 a 1500 mm pueden ser suficientes. Los mejores rendimientos se han encontrado en regiones donde la precipitación no es inferior a los 2000 mm anuales, y a veces pasa de 3000 mm.⁴⁵

Esta especie se identifica como planta heliófila, por sus altos requerimientos de luz. La cantidad de horas luz-año, para lograr altas producciones se ubican sobre los 1500, pero también es muy importante la distribución de las mismas; por esta razón, zonas que presentan promedios mensuales superiores a las 125 horas-luz, son adecuadas para el cultivo. La palma africana se ubica en aquellas zonas con humedad promedio mensual superior a 75%.

El clima del Magdalena medio tiene una temperatura anual promedio de 28 °C y un promedio anual de lluvias de 2687 mm. En la tabla Excel anexo 4 se registran datos solarimétricos de la zona para varios meses y diferentes años. Al observar estos datos se concluye que en la zona se tienen mínimo diez horas luz diarias, que equivalen a 3650 horas luz año, valor superior al doble del mínimo recomendado. En cuanto a la humedad relativa el promedio mensual de la zona es 80%.⁴⁶ De modo que el clima de la zona es óptimo para la siembra de palma.

⁴⁵ PLANTAS OLEAGINOSAS. Maxzani, Bruno. Salvat editores S.A. Impreso en España. 1963. Pág 361-362.

⁴⁶ <http://www.pdpmm.org.co/mmed/region.htm>

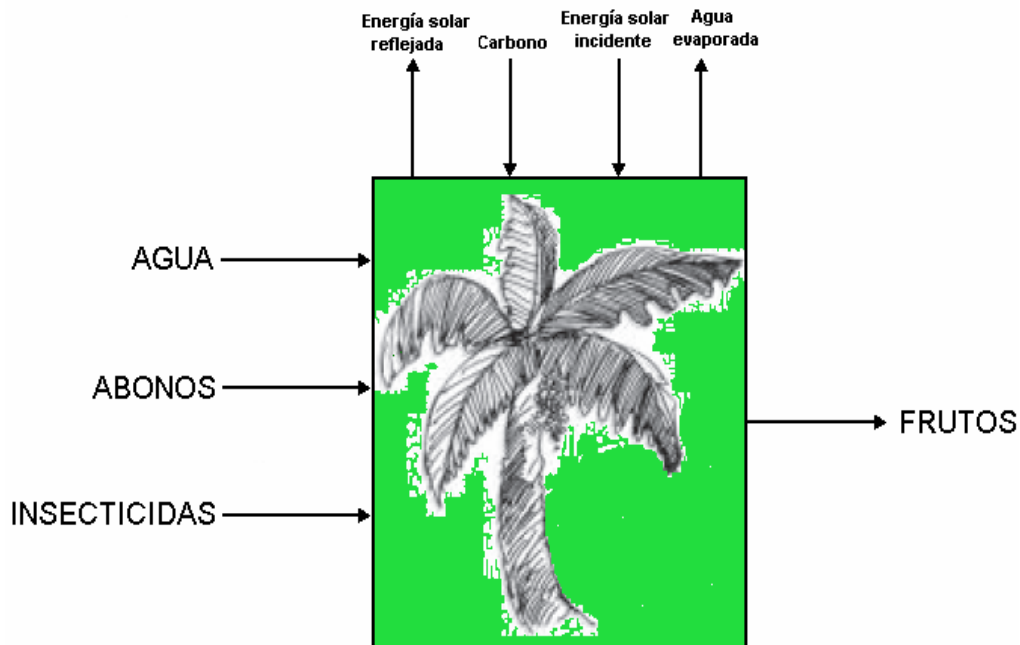
La palma africana de aceite extrae anualmente del suelo grandes cantidades de elementos nutritivos, que la palma consume en los procesos continuos de mantenimiento, crecimiento y fructificación. Solamente la cosecha substraer de la plantación cantidades de racimos variables entre 10000 y 20000 kg por Ha. Hay que añadir a éstos el consumo de elementos nutritivos para la formación de las hojas, el crecimiento del estípote y de las raíces, y el cumplimiento general de las funciones vitales. Por estas razones la palma puede prosperar solamente en terrenos de elevada fertilidad, ricos en elementos nutritivos y en materia orgánica. Es tolerante por lo que se refiere a variaciones de la reacción del suelo, encontrándose plantaciones en buenas condiciones en terrenos de pH entre 4 y 8. 47 El análisis de suelos del terreno utilizado para la plantación, permitió establecer un pH de 5,1 +- 0.1, lo que indica que hay que tener precaución con la acidez y que eventualmente habrá que añadir cal.

En el contexto del análisis y síntesis de procesos cada palma se considera como un reactor y el cultivo como un conjunto de reactores en paralelo. Así mismo, el suelo es un reactor análogo de múltiples reacciones simultáneas, de tamaño variable en hectáreas y de calidades diferentes en función del tipo y calidad de suelos.

4.3 BALANCES DE MASA Y ENERGÍA.

De acuerdo a la Figura 10 las corrientes a cuantificar serían las correspondientes a: racimos, agua, abonos, insecticidas, vapor de agua, energía solar recibida y reflejada.

Figura 10. Flujos de masa y energía del cultivo de palma.



⁴⁷ PLANTAS OLEAGINOSAS. Maxzani, Bruno. Salvat editores S.A. Impreso en España. 1963. Pág 380-381.

Tabla 17. Producción del cultivo de 10 Ha de acuerdo a la edad.

Edad del cultivo	Racimos (kg/año)	Fruto (kg/año)
0	0	0
1	0	0
2	0	0
3	0	0
4	0	0
5	117.669	109.824
6	186.309	173.888
7	254.949	237.952
8	323.589	302.016
9	392.229	366.080
10	460.869	430.144
11	529.509	494.208
12	598.149	558.272
13	666.789	622.336
14	735.429	686.400
15	735.429	686.400
16	735.429	686.400
17	735.429	686.400
18	735.429	686.400
19	735.429	686.400
20	735.429	686.400
21	694.239	647.956
22	653.055	609.518
23	611.871	571.080
24	570.688	532.642
25	529.504	494.204
26	488.321	455.766
27	447.137	417.328
28	405.954	378.890
29	364.770	340.452
30	323.586	302.014
31	282.403	263.576
32	241.219	225.138
33	200.036	186.700
34	158.852	148.262
35	117.669	109.824

Para calcular la corriente de racimos, hay que tener en cuenta que la producción va ligada directamente con la edad de la palma. En los primeros cinco años la producción es prácticamente nula, luego a los 5 años se presenta una producción mínima (8 racimos por año con un peso por racimo de 20 kg, 1200 frutos por racimo y con peso del fruto de 8 g) que se incrementa hasta un máximo a los 14 años (12 racimos por año con un peso de 30 kg por racimo, 4000 frutos por racimo y con peso promedio del

fruto de 10 g). Entre los 14 y 20 años la producción se mantiene prácticamente constante para posteriormente decrecer de nuevo hasta la mínima a los 35 años de edad. Se considera para los cálculos que los decrecimientos y crecimientos son lineales, obteniendo los resultados de la Tabla 17.

Tabla 18. Producción anual de los cultivos integrados.

Año	Racimos (kg/año)	Frutos (kg/año)
2.007	254.949	237.952
2.008	323.589	302.016
2.009	392.229	366.080
2.010	460.869	430.144
2.011	529.509	494.208
2.012	715.817	668.096
2.013	853.097	796.224
2.014	990.377	924.352
2.015	1.059.017	988.416
2.016	1.127.657	1.052.480
2.017	1.196.297	1.116.544
2.018	1.264.937	1.180.608
2.019	1.333.577	1.244.672
2.020	1.402.217	1.308.736
2.021	1.429.667	1.334.356
2.022	1.388.484	1.295.918
2.023	1.347.300	1.257.480
2.024	1.306.116	1.219.042
2.025	1.264.933	1.180.604
2.026	1.223.749	1.142.166
2.027	1.182.566	1.103.728
2.028	1.100.192	1.026.846
2.029	1.017.825	949.970
2.030	935.458	873.094
2.031	853.091	796.218
2.032	770.724	719.342
2.033	688.356	642.466
2.034	605.989	565.590
2.035	523.622	488.714
2.036	364.770	340.452
2.037	323.586	302.014
2.038	282.403	263.576
2.039	241.219	225.138
2.040	200.036	186.700
2.041	158.852	148.262
2.042	117.669	109.824

Teniendo como fecha de inicio del proyecto el año 2007, el cultivo a sembrar comenzará a producir solamente hasta el 2012 y a su vez el cultivo activo dejará de producir en el 2035. De modo que la producción conjunta estimada hasta el año 2042 (fecha en que termina la producción del nuevo cultivo) sería la mostrada en la Tabla 18.

El promedio anual de lluvias es 2687 mm, el hecho que este promedio sea superior al mínimo hace que no sea necesaria la implantación de sistemas de riego. De modo que la corriente de agua que entra al sistema es 53 740 000 kg de aguas lluvias por año. Parte de esta agua es evaporada y otra absorbida por el suelo y la palma^[42].

La energía solar se estima promediando los datos solarimétricos tomados por la estación meteorológica del Rosario (tabla Excel Anexo 5). La radiación promedio diaria^[42] calculada es 4123,14 W h / m². El albedo, definido como la relación entre la energía reflejada y la energía incidente, para el cultivo de palma africana es 0,14, siendo el flujo de energía reflejada igual a 577,24 W h / m². Tan solo el 1% de la energía recibida es utilizada para la fotosíntesis. Si el resto de la energía fuese absorbida por la planta, aumentaría su temperatura considerablemente, sin embargo esto no sucede gracias a la transpiración de las plantas. Cuando el agua se evapora se produce un cambio de estado desde líquido a vapor de agua, lo que requiere de energía, la que es tomada desde la planta provocando un enfriamiento de las hojas. De la gran cantidad de energía solar que puede recibir una planta en el día, más del 50% es disipada sólo por la transpiración. El resto de la energía se disipa por otros medios, por ejemplo: intercambio directo con el aire y enfriamiento por viento.⁴⁸

Utilizando el dato del calor latente de vaporización del agua a 20 °C, y sabiendo que el 50 % de la energía que no es reflejada se disipa por la transpiración, se calcula el flujo másico de agua evaporada que es igual a 52 013, 86 kg de agua por día, que equivale a 18 985 057,6 kg por año.

El abonado se realiza cinco veces al año y en cada ocasión se aplican 300 gramos de mezcla por palma, para un consumo anual de 4290 kg. La mezcla consta de tres distintos abonos⁴⁹ cuyas proporciones están basadas en el análisis de suelos. En la mezcla se encuentran; un abono rico en boro, abono rico en magnesio y calcio, y abono con macro nutrientes en forma balanceada que contiene nitrógeno, potasio y fósforo^[1,37].

Los insecticidas se aplican solamente una vez por año y el gasto por Ha de éste es 0,7527 litros⁵⁰. El flujo másico de insecticida (considerando la densidad del insecticida igual a la del agua) es 15,054 kg por año.

Los estudios científicos indican que los bosques capturan aproximadamente 300 toneladas de carbono por hectárea por año (TonC/ha/año), mientras que los agro sistemas sólo pueden capturar alrededor de 30 Ton C/ha/año.⁵¹ La diferencia abismal, a pesar de que se están mencionando datos promedio, se debe a muchos factores: a)

⁴⁸ <http://agronomia.uchile.cl/extension/explora2003/files/Gu%EDA%2013.pdf>

⁴⁹ Los abonos empleados son producidos por MONÓMEROS S. A.

⁵⁰ Dato tomado de la práctica en la zona cuando se emplea para la fumigación insecticida marca Esterón.

⁵¹ <http://www.monografias.com/trabajos10/suelo/suelo.shtml>

tal vez el principal es el volumen de biomasa que trabaja para incorporar carbono: un bosque es un volumen de biomasa de hasta 60 m para la cobertura vegetal de tercer piso con cobertura intermedia en altura hasta llegar a la cobertura superficial, combinando variedades que se refuerzan cinérgicamente en su labor fotosintética; en el otro extremo los agro sistemas tienen pocas o una sola variedad vegetal trabajando, típicamente corresponde a la cobertura vegetal de baja altura o solo superficial y por tanto a un bajo volumen de biomasa en ejercicio, b) otro factor es la gran variedad de capacidad fotosintética de las especies vegetales y que depende entre otras variables de la superficie de las hojas⁵², por ejemplo un bosque de plantas latifoliadas atrapa 759 ton por Ha mientras uno de coníferas atrapa 151 toneladas por Ha,⁵³ c) la localización en el planeta, altitud y latitud de la cual dependen las horas de sol y luminosidad y por lo tanto la intensidad de energía solar que impulsa la fotosíntesis,⁵⁴ d) las condiciones edafológicas, hidrológicas, de vientos, etc^[35,33].

No se encontraron datos especializados para la palma, aunque sí sugerencias en el sentido de que difiere mucho dependiendo de su edad (con palmas pequeñas es cercana a un agro sistema, prácticamente con solo la palma como variedad en ejercicio; con palmas grandes la situación se acerca a la de un bosque de reforestación pero muy eficiente por cuanto la palma es alta y con una buena densidad de cultivo el follaje es abundante y permite alguna vegetación complementaria de alturas menores). Un dato muy aproximado promedio para la vida útil del cultivo en zona tórrida con densidad promedio de siembra y buenas condiciones edafológicas sería 66 ton C / Ha / año. El flujo de carbono que entra al sistema plantación palma por año es 1 320 000 kg aproximadamente.

4.4 ASPECTOS TÉCNICOS COMPLEMENTARIOS^[1].

Para la fácil extracción de la cosecha se deben construir vías de acceso. El factor tecnológico utilizado para el cálculo de los metros de vías es 60 m de vía por Ha⁵⁵, de modo que se deben construir 1200 m de vía.

Además de los metros de vía es necesario construir sistemas de drenaje, los metros que se recomiendan construir por Ha son 138⁵⁶. Para el caso particular, se deben construir 2 760 m de drenaje.

4.5 ASPECTOS DE MERCADO^[37,38,39].

La palma, que como ya se estableció es un cultivo de largo ciclo con un relativamente prolongado tiempo de espera desde el vivero hasta el inicio, constituye en Colombia una excepción en cuanto se comercializa (el cultivo) en cualquier edad del mismo y durante el mismo se da una cadena de negocios: el vivero, el paquete de siembra y

⁵² <http://www.incae.edu/ES/clacds/investigacion/pdf/cen741.pdf>

⁵³ Manglar 185,16 ton C/Ha; áreas protegidas (bosque nativo antiguo) 770 ton C/Ha; bosque protección cuencas 661,8 ton C/Ha; bosque (reforestación) 66 ton C/Ha; café con sombra 262,28 ton C/Ha.

⁵⁴ Los datos mencionados en la nota 49 corresponden a regiones localizadas en Honduras; en el trópico se esperan datos superiores.

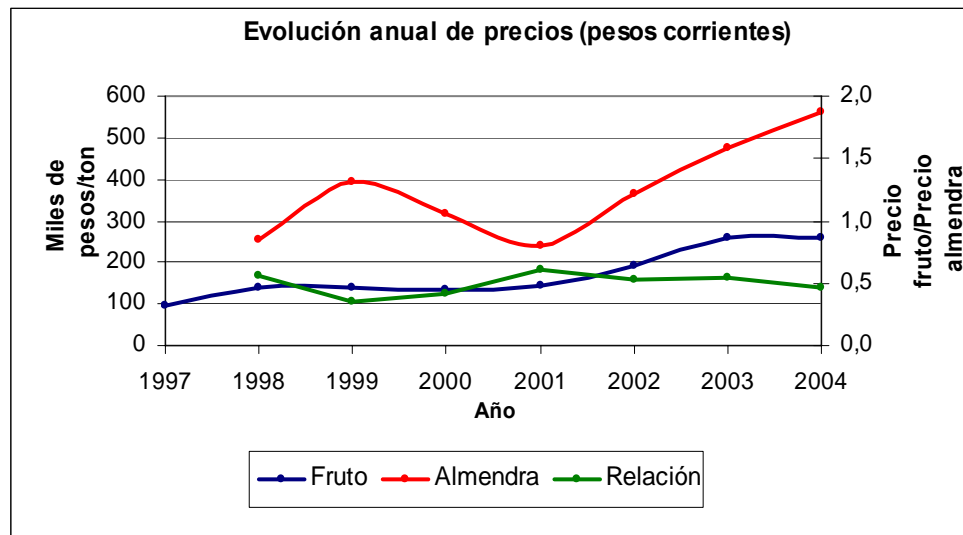
⁵⁵ Factor tecnológico empleado en la práctica de cultivos de palma africana en la zona de sabana de Torres.

⁵⁶ factor tecnológico también extraído de la práctica.

establecimiento, el cultivo recién sembrado y de ahí en adelante cultivo en crecimiento antes de producir y cultivo en producción de diferentes edades. Con los racimos cosechados se inicia otra cadena de producción muy diversificada y con ramos en los sectores de alimentos, biocombustibles, oleoquímica en general, entre otros. Con el boom del cultivo en Colombia, los primeros eslabones de la cadena del cultivo han sido muy exitosos, así los últimos y sobretodo el eslabón de quien cosecha fruto por largo tiempo, no lo sean tanto o, en algunos casos, sean desfavorables financieramente.

Los precios del fruto de palma y del aceite en Colombia fueron hasta muy recientemente una excepción en el contexto internacional en cuanto a través de un fondo de estabilización de precios, sostenido por los gremios de palmeros y por el estado colombiano, no seguían las pautas y tendencias del mercado mundial, Dicho fondo tuvo éxito en su propósito mientras el porcentaje de aceite producido en Colombia fue bajo o relativamente bajo; actualmente cuando el porcentaje exportado supera ampliamente lo comercializado internamente y sigue creciendo la diferencia, no se puede evitar que los precios internos sean impuestos o fuertemente influidos por el correspondiente en mercado internacional en el que se que tiene precio cíclico, como se representa en la Figura 11 que se constituye en la guía para el análisis del proyecto objeto de este informe.

Figura 11. Evolución anual de precios.



Por otra parte, el fruto que se comercializa en racimos puesto es el cultivo, ya que el transporte típicamente es administrado por las extractoras y beneficiadoras del aceite, tiene precios notablemente diferentes de un sitio a otro, en función de la distancia a la extractora, calidad de la infraestructura vial, densidad de cultivos y por tanto de producción, entre otros factores. En Colombia puede haber diferencias hasta de \$100/Kg de fruto entre casos extremos.

La producción obtenida se destina a la alimentación de los cerdos y demás animales de la granja, salvo cuando se presenten precios del fruto que superen en ingresos los gastos de compra de alimentos complementarios, caso en el cual se vende a la

extractora más cercana que por el momento está localizada en San Alberto (Cesar) a cerca de 20 Km por carretera destapada y 110 Km por la vía panamericana y dentro de poco habrá una nueva extractora localizada a 5 Km de la panamericana por la vía Puerto Wilches, de manera que las distancias serán los mismos 20 Km de vía destapada y 23 Km de vía pavimentada de excelentes especificaciones.

4.6 ASPECTOS ADMINISTRATIVOS.

Las labores que deben desempeñar en un cultivo de palma son:

- ✳ Plateo manual, mecánico o químico: se realiza entre 2-4 veces al año.
- ✳ Poda: basta que se haga una vez por año.
- ✳ Control de malezas: debe realizarse permanentemente.
- ✳ Aplicación de fertilizantes: con una frecuencia de 5 veces al año.
- ✳ Fumigación terrestre: una sola vez por año.

Las labores que se consideran como de mantenimiento y que todas se realizan una vez por año son:

- ✳ Limpieza de drenajes.
- ✳ Evaluación fitosanitaria.
- ✳ Valoramiento agroquímico.
- ✳ Mantenimiento de vías.
- ✳ Análisis foliares.

4.7 ASPECTOS FINANCIEROS.

El análisis financiero del proyecto de palmicultura se realiza integrando ambos cultivos (el que se va a sembrar y el que se encuentra actualmente en producción), de modo que el tiempo de vida útil se considera de 35 años partiendo del 2007 que corresponde al primer año del cultivo nuevo.

En la [tabla Excel anexo 6](#) se muestran los gastos y entradas del proyecto año tras año con una corrección de precios que correspondiente a 6% de inflación y teniendo en cuenta el ciclo de precios, como se explicó al analizar el mercado; así se evalúa la rentabilidad con una tasa atractiva mínima del 18%.

4.8 EVALUACIÓN ECONÓMICA.

La inversión total se compone del precio de las 20 Ha de tierra y los valores de cada uno de los cultivos para el año 2006. Este valor corresponde a \$76 901 523,1. Del anexo extraemos los datos mostrados en la Tabla 19.

Tabla 19. Resultados de la evaluación económica del cultivo de palma.

Inversión total (\$)	76 901 523,1
Valor Presente Neto a los 10 años (\$)	124 630 469,91
Valor Presente Neto a los 20 años (\$)	311 064 431,99
Valor Presente Neto a los 35 años (\$)	338 974 778,87
Tiempo de recuperación de la inversión	3 años
Tasa interna de retorno	41,7 %

5. PLANTA DE PREPARACIÓN DE ALIMENTOS.

5.1 UBICACIÓN Y BASES DE CÁLCULO.

La planta de alimentos recibe flujos de productos del mercado en términos de insumos que son parte de la dieta para los proyectos de piscicultura, porcicultura, ganadería bovina, y galpones; recibe también flujos de por lo menos uno de esos proyectos (residuos del beneficio de piscicultura), del proyecto palma, del proyecto pastos (pasto de corte) y eventualmente de otros cultivos (yuca, bore, ñame). En términos de servicios es un consumidor intenso de combustible y de energía eléctrica; más aún, dadas las circunstancias de suministro de energía por red pública que es deficiente en la zona, está asociada a la generación local de energía eléctrica por medio de una planta diesel.

En consecuencia, se localiza en el centro y contigua a las actividades o proyectos con los que se relaciona como se ve en la Figura 1.

Las bases de cálculo para dimensionar la planta y sus componentes son dadas, entonces por los requerimientos de los proyectos usuarios en términos de las cantidades de alimentos que se deben preparar o procesar para cada frente de uso.

5.2 DIAGRAMA DE FLUJO – EQUIPOS, OPERACIONES Y PROCESOS.

En la Figura 12 se representa la distribución de la planta y en la Figura 13 se muestra un esquema en 3 dimensiones.

Figura 12. Distribución en planta de alimentos.

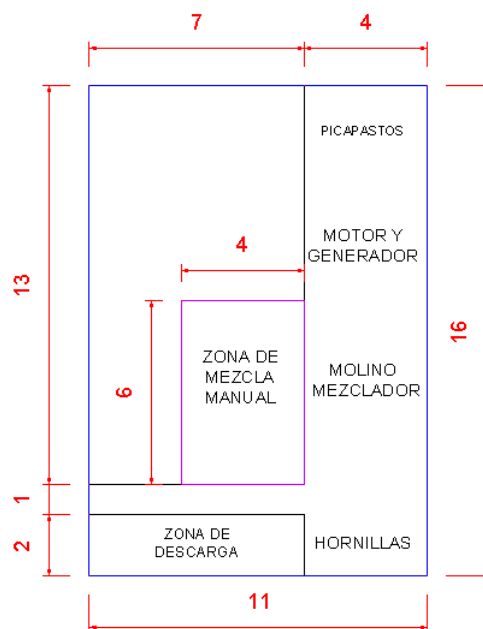
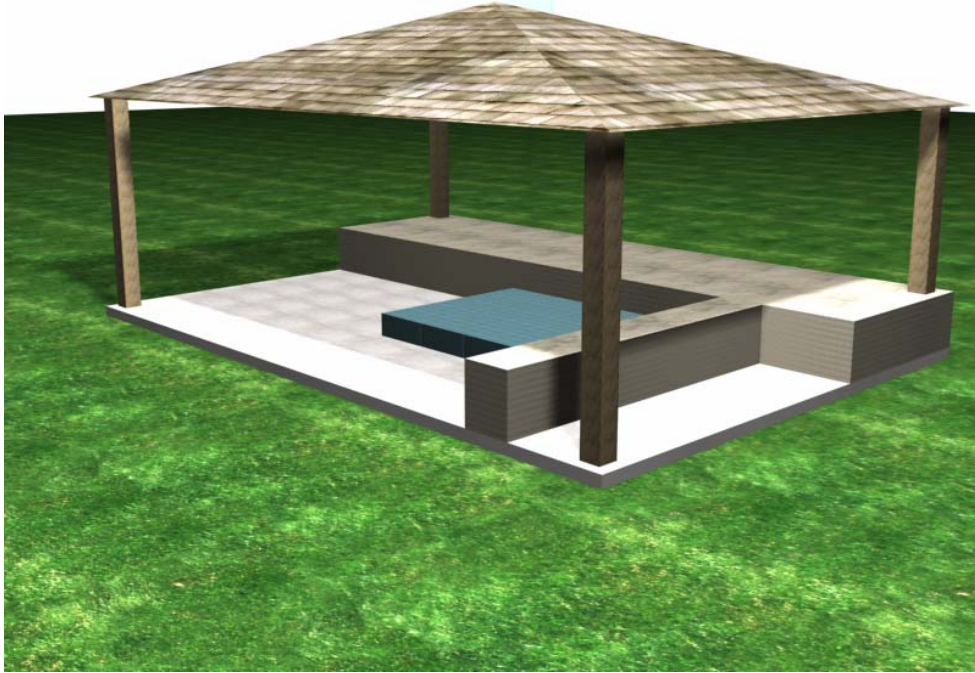


Figura 13. Esquema 3D de la planta de alimentos.



El motor Diesel debe mover, simultánea o secuencialmente, dependiendo de las exigencias de potencia, el generador de energía eléctrica, la picapasto y el molino mezclador y por tanto su selección es estratégica y para hacerlo se tuvieron en cuenta los siguientes criterios:

- ✱ El molino mezclador y la picapasto no deben funcionar simultáneamente por seguridad industrial, para no requerir dos operadores de máquinas, porque los tiempos de uso diario son bajos con respecto a la jornada laboral.
- ✱ El generador y la picapasto deben poder ser utilizados simultáneamente por economía de combustible, para poder trabajar de noche aún con energía local y por razones de simultaneidad y secuencialidad de operaciones como el ordeño, riego con bombeo mañanero, entre otras.
- ✱ El generador y el molino mezclador deben poder ser utilizados simultáneamente (pero solo ocasionalmente) por economía de combustible, para poder trabajar de noche aún con energía local y por razones de simultaneidad y secuencialidad de operaciones como el ordeño. Dado que el molino es de alta exigencia relativa en cuanto a potencia no se debe hacer simultáneamente bombeos u otros usos de energía eléctrica diferentes a la iluminación.

Todo lo anterior llevó a selección simultánea y coordinada de los equipos que tienen las siguientes especificaciones:

- ✱ **MOLINO MEZCLADOR:** con polea de 5 in, capacidad de moler y mezclar entre 1 a 3 Ton por hora de materia prima en función de la velocidad de rotación (máxima de 1700 rpm) y de características de la masa molida y

mezclada. Es un molino de martillos con dos tipos de masas para impacto asociadas al rotor: dos cuchillas fijas que giran libres a ras de la entrada al rotor y 3 grupos de 6 regletas móviles que al girar impactan, sobre 3 obstáculos dentro del estator y giran un ángulo de 10° para sobrepasarlos (movimiento que genera vibraciones y desacomodamientos del material molido para que no se pegue en caso de ser húmedo). El diámetro interno del estator es de 80 cm y el ancho de 20 cm. Tiene tolva de alimentación con obstáculos reguladores del flujo que se pueden acomodar dependiendo del material y el ángulo mismo de la tolva es variable con el mismo fin. La descarga del material procesado está en la parte inferior externa (aguas abajo) del estator con geometría propicia para que el movimiento de las partes móviles, empujen el material.

- ☀ **PICAPASTOS:** Se adquirió previendo aumentos de material procesado en el futuro, bajo tiempo de funcionamiento diario (para dar espacio al molino mezclador que inicialmente se mueve con el mismo motor), gran durabilidad y mínimo mantenimiento se seleccionó la picapastos modelo M12 fabricada por Moreno y Hermanos, cuya producción oscila entre 2500 y 4000 kg de pasto de corte por hora, dependiendo del sistema de alimentación. Este modelo es una máquina de alta producción con sistema de corte tradicional que pica pastos, caña de azúcar, sorgo, maíz y todas las especies forrajeras. En la Tabla 20 se consignan algunas especificaciones adicionales.

Tabla 20. Especificaciones de la picapastos.

Velocidad del volante recomendada	300-350 RPM
Longitud de corte (aproximada)	8 mm
Diámetro del volante	22 in
Número de cuchillas en el volante	3
Potencia requerida por motor eléctrico	3 – 5 HP

Fuente: Especificaciones del fabricante

- ☀ **MOTOR:** se seleccionó un motor diesel de 7 HP de potencia, 850 rpm, volante de 21 “, eje de 2” al cual se le pueden acomodar hasta tres poleas, Refrigerado por aire . Esta potencia es necesaria para operar los equipos descritos anteriormente en la forma ya especificada.

5.3 BALANCES DE MASA Y ENERGÍA.

Inicialmente en la planta de alimentos se preparan únicamente las mezclas para alimentar cerdos y ganado.

En el Anexo F se utiliza la herramienta de programación lineal para formular mezclas en cada escenario cuyos cambios son muy dinámicos a caballo sobretodo del mercado de insumos y de los concentrados sustitutos de la mezcla que se va a producir en cada momento.

La función objetivo es siempre minimizar costos y las restricciones son de tres tipos: i) requerimientos nutricionales (mínimos de proteína, etc), ii) disponibilidad de insumos (hay insumos de oferta limitada o conveniencia de consumir uno en particular), iii) de balance de masa, iv) no superar los costos in situ de los concentrados sustitutos. Los datos son los precios in situ de los insumos y las composiciones de los insumos. Todo

en conjunto constituye el escenario hasta el punto de que prácticamente cada día es un escenario distinto y una solución óptima distinta.

Solo a título de ejemplo se presentan dos escenarios de alguna frecuencia: a) El resultado en cada etapa fue utilizar polvillo con una pequeña cantidad de caliza molida como complemento, pero la disponibilidad del polvillo en el mercado no es permanente y tiende a ser escasa. Por este motivo, se formuló de nuevo el problema para el caso en que no haya disponibilidad de polvillo y se tomaron estos resultados para el cálculo de los gastos e inversiones del proyecto de porcicultura. Para el dimensionamiento de los equipos se utilizaron los flujos máximos diarios para cada tipo de mezcla, como se ve en la Tabla 21.

Tabla 21. Flujos máximos de mezcla.

Mezcla de Machos (kg/día)	13,41
Mezcla Gestación primeras 12 semanas (kg/día)	66,6
Mezcla Gestación 13 y 14 semana (kg /día)	46,224
Mezcla Lactantes 1ra semana (kg/día)	32,34
Mezcla lactantes 2da semana (kg/día)	39,24
Mezcla lactantes 3ra semana (kg/día)	49,38
Mezcla Iniciación 10 kg (kg/día)	96
Mezcla iniciación 20 kg (kg/día)	121,8
Mezcla Crecimiento 30 kg (kg/día)	175,2
Mezcla crecimiento 40 kg (kg/día)	237,6
Mezcla crecimiento 50 kg (kg/día)	153,3
Mezcla finalización 60 kg (kg/día)	348
Mezcla finalización 70 kg (kg/día)	385,2
Mezcla finalización 80 kg (kg/día)	422,4
Mezcla finalización 90 kg (kg/día)	458,4
TOTAL (kg/día)	2 645,1

Las cantidades de materia prima diarias para preparar estos alimentos son; para el caso en que hay polvillo las de la Tabla 22 y para el caso en que no hay disponibilidad de polvillo las de la Tabla 23.

Tabla 22. Flujo de materias primas para la preparación de alimentos para cerdos cuando hay disponibilidad de polvillo en el mercado

Polvillo (kg/día)	2420,61
Caliza (kg/día)	18,01
Fruto de palma (kg/día)	16
Harina de pollo (kg/día)	194,18
TOTAL	2 648,8

La totalidad de las materias primas se hacen pasar por el molino mezclador, logrando de esta forma una mezcla homogénea y en tamaños que faciliten el consumo y asimilación de los alimentos en los animales. La diferencia de peso ingerida por los cerdos de una dieta a otra afecta el costo diario de la alimentación, pero no a los animales; esto porque los estómagos de los cerdos (y en general de casi todas las especies) son flexibles y no se presenta ningún inconveniente si se alimenta un cerdo con más cantidad de alimento, lo importante es que la dieta suministre los nutrientes necesarios.

Tabla 23. Flujo de materias primas para la preparación de alimentos para cerdos cuando no hay disponibilidad de polvillo en el mercado.

Caliza (kg /día)	8,56
Fruto de palma (kg/día)	1804,24
Harina de Pescado (kg/día)	702,95
Repila de arroz (kg/día)	22,122
Harina de pollo (kg/día)	111,6
TOTAL	2 649,5

5.4 ASPECTOS DE MERCADO.

Teniendo en cuenta que el mercado, en general, incluye precios, productos, plaza y promoción, para el caso que se estudia la plaza es la misma finca o granja integral por cuanto los alimentos se producen solo para su consumo interno y la promoción no se requiere por atender solo lo que se podría llamar clientes internos: los animales consumidores (cerdos, vacas, peces).

Ahora bien, en cuanto a los productos que se van a fabricar ya se especificaron en términos de exigencias nutricionales y cantidades de cada uno y esa información ya está implícita en la programación lineal descrita en el Anexo F. Lo mismo ocurre con los insumos o materias primas, uno de los cuales está en la misma finca: el fruto de palma.

En cuanto a los precios, como ya se explicó, cambian todos los días pero en todo caso los vigentes en el momento de elaborar este informe se incluyeron en la función objetivo de la programación lineal descrita.

También es un dato del mercado la disponibilidad de cada insumo que también se incluye en la información de la programación lineal descrita en el Anexo F.

Como elemento de análisis que también se incluye en la programación lineal están los precios de los concentrados de marca o de fábrica para cada etapa de los cerdos que ya cumplen con los requisitos y que dado el caso de que su precio fuese menor que el costo de obtener los requerimientos con otra mezcla, daría como respuesta que se deben comprar y no fabricar en la finca, situación que con los precios actuales está lejos de ocurrir.

Téngase en cuenta, de nuevo que se toman precios puestos en la finca.

Como información que se obtiene con la prueba de diferentes escenarios por prueba y error, el precio en la finca del fruto de palma en racimos, por encima del cual convendría venderlo y no utilizarlo para fabricar alimentos en la finca, es de \$ 260 / kg. Planteado de otra manera, con ese precio o superior, el fruto de palma no entra en la composición de los alimentos. Con precios menores y en la medida en que van descendiendo, entra con mayores proporciones en la dieta de los cerdos. El análisis del Anexo F está con un precio de \$ 241 / kg, que era el vigente en el momento de hacer el análisis. En este momento (fines de mayo de 2006) los precios han descendido fuertemente y por tanto el fruto de palma se usa más en la dieta.

5.5 ASPECTOS ADMINISTRATIVOS.

En la planta de alimentos para operar los equipos solo es necesaria una persona. Esta persona será la encargada de operar la picapastos, el molino mezclador, las hornillas y desde luego, el motor y generador. Para el movimiento de materias primas contará con la ayuda de los operarios rotativos y para el transporte de productos hacia su destino final, contará con la ayuda, además de la de los operarios rotativos, de los operarios de los proyectos de porcicultura, ganadería y avicultura. El porcentaje de utilización de los dos operarios rotativos en la planta se especifica en el capítulo de integración.

5.6 EVALUACIÓN ECONÓMICA.

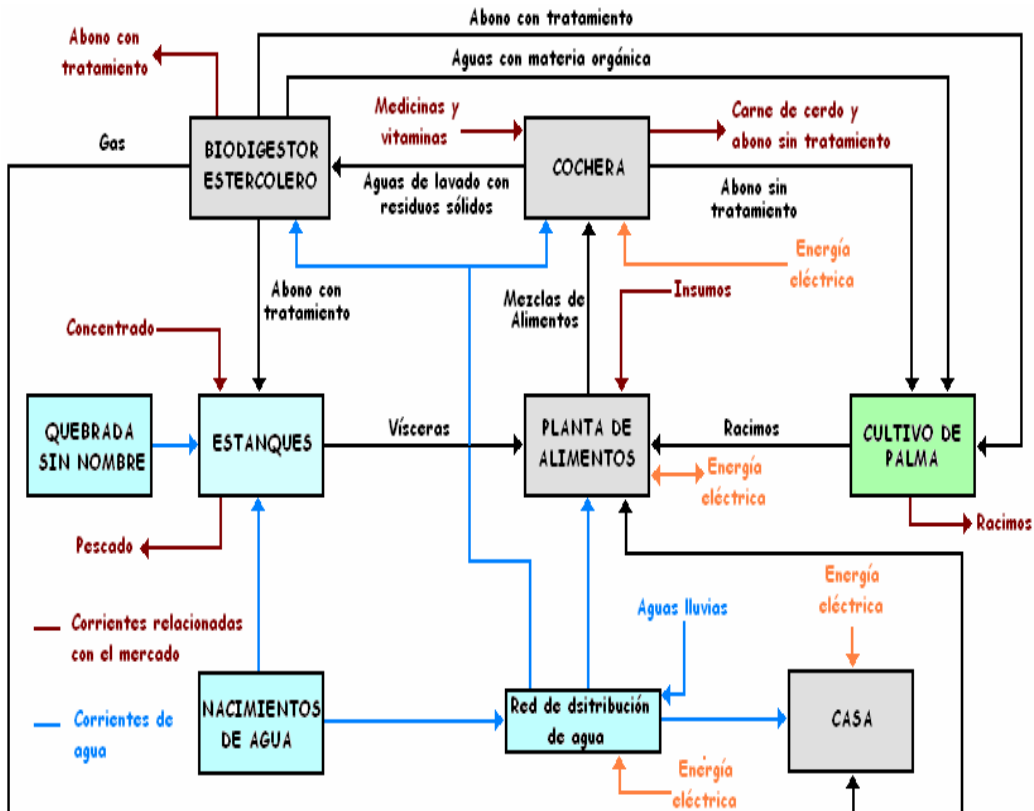
La planta de alimentos como proyecto de inversión, se analiza dentro de los proyectos de porcicultura, ganadería y avicultura. En cada uno de estos proyectos se incluye dentro de las inversiones fracciones equivalentes al porcentaje de utilización de la planta, así como los gastos operacionales de los mismos.

6. GRANJA INTEGRADA COMO COMPLEJO INDUSTRIAL

6.1 DIAGRAMA DE FLUJO GLOBAL.

En la Figura 14 se muestran los flujos de entrada y salida de todos los proyectos individuales, estableciendo las conexiones entre ellos y el mercado.

Figura 14. Diagrama de flujo global.



6.2 ASPECTOS ADMINISTRATIVOS.

En Cada proyecto se analizó el aspecto administrativo señalando lo específico de cada uno y lo compartido con otros, sobre todo en cuanto a personal pero también, aunque sin detalle o referencia explícita a las líneas de mando, responsabilidad e información.

Conviene entonces plantear un organigrama de la Granja Integral en su conjunto, ver Figura 15 que incluye lo relacionado con la línea de mando y responsabilidad, y con base en ella, se contemplan la línea de información. En las Tablas 24 y 25 se resume lo esencial con respecto al personal.

Figura 15. Organigrama de la granja integral.

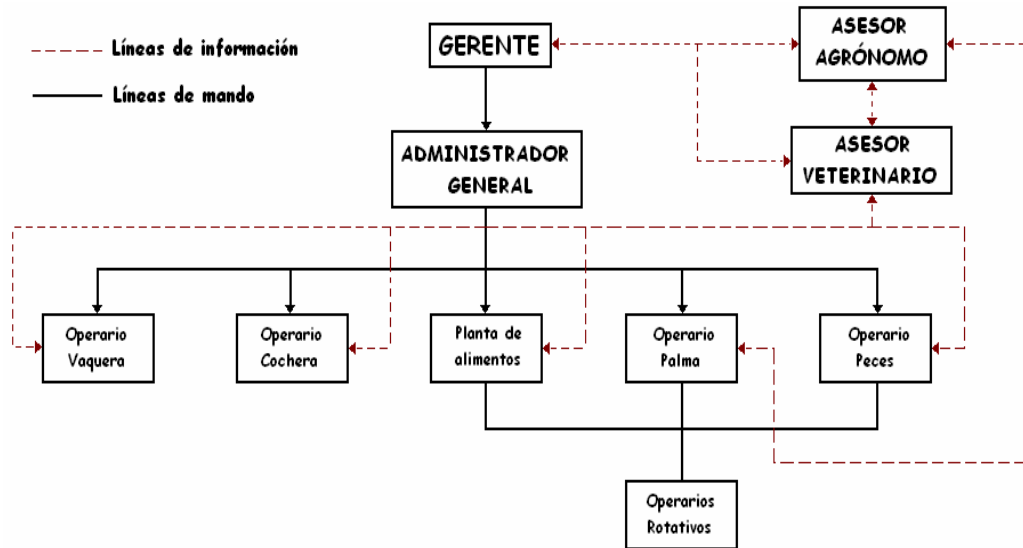


Tabla 24. Perfil básico del personal de la granja integral.

Cargo	Perfil Básico
Gerente (# 1)	Profesional en Administración, Ingeniería o Disciplinas Agro
Administrador General (#1)	Alfabeto funcional ⁵⁷ , habilidad en manipulación numérica general, conocimiento para manejar concentraciones, diluciones, concentraciones; habilidad y experiencia básica para manejos mentales de tiempos y movimientos, habilidad y experiencia en manejo de personal. Conocimientos y experiencia en manejo general de animales domésticos y de manejo operativo y preventivo de la sanidad animal. Habilidad y experiencia en administración de finca.
Operario Peces (# 1)	Alfabeto funcional ⁵⁹ , habilidad en manipulación numérica general, conocimiento para manejar concentraciones, diluciones y concentraciones.
Operario cerdos (# 1)	Alfabeto funcional ⁵⁹ , habilidad en manipulación numérica general, conocimiento para manejar concentraciones, diluciones, concentraciones. Saber del manejo general de los cerdos: atender partos, seguimiento de neonatos, castrar, descolmillar e inyectar.
Operario Palma (# 1)	Experiencia en la siembra, cuidado y recolección de la cosecha de palma africana.
Operario planta de alimentos (# 1)	Alfabeto funcional ⁵⁸ , habilidad en manipulación numérica general, conocimiento para manejar concentraciones, diluciones, concentraciones.
Operarios rotativos (# 2)	Responsabilidad y versatilidad para realizar cualquier labor encomendada.

⁵⁷ Diferente del alfabeto literal que sabe leer y escribir; el alfabeto funcional interpreta lo leído, lo procesa y tiene la mente entrenada para tomar decisiones en base a la información leída.

⁵⁸ Diferente del alfabeto literal que sabe leer y escribir; el alfabeto funcional interpreta lo leído, lo procesa y tiene la mente entrenada para tomar decisiones en base a la información leída.

Tabla 25. Perfil deseable y demás factores a considerar en el personal.

Cargo	Perfil Deseable	Valor Nominal Anual⁵⁹	Dedicación (%)	Valor Total⁶⁰ Anual
Gerente (# 1)	Especializado en proyectos agroindustriales	5	20 Peces, 15 cerdo, 5 palma, 20 ganado, 20 galpones, 15 planta de alimentos y 5 a pastos.	102
Administrador General (#1)	Responsabilidad, honradez y ética preactiva del trabajo.	1,5	Ganado 50, pastos 10, planta de alimentos 10, cerdos 10, galpones 10 y peces 10	36
Operario Peces (# 1)	Haber realizado curso de piscicultura en granjas educativas o SENA	1	100	24
Operario cerdos (# 1)	Haber realizado curso de porcicultura en granjas educativas o SENA.	1	100	24
Operario Palma (# 1)	Haber realizado un seminario o curso práctico en agricultura.	1	100	24
Operario planta de alimentos (# 1)	Tener conocimientos básicos de mecánica para solucionar o diagnosticar daños que se pueden presentar en la maquinaria utilizada.	1	100	24
Operarios rotativos (# 2)	De preferencia que sean alfabetas.	1	Peces 37,5, palma 5, compostaje 8, planta alimentos 49,5	48

⁵⁹ Corresponde a dedicación total. En Salarios mínimos mensuales.

⁶⁰ Con un factor prestacional común promedio de 2, teniendo en cuenta que el factor prestacional mínimo legal para trabajadores de bajo rango es de 1,578556 y que se les suministra vivienda. Con respecto al salario nominal, el patrón debe pagar 8,33% de cesantías, 0,1996% de intereses a cesantías (1% mensual de las cesantías, 12% anual de cesantías), prima de servicios 8,33%, vacaciones 4,166%, parafiscales 9% (ICBF, SENA, otros), 7% de dotaciones, salud y pensión 18,33%, riesgos profesionales 2,5%. Las unidades son Salarios mínimos mensuales.

6.3 ASPECTOS FINANCIEROS.

Tradicionalmente se consideran en este aparte, en primer lugar lo relacionado con los cálculos de las inversiones, ingresos y costos, para reducir todo a los correspondientes flujos de fondos y, por otra parte, lo relacionado con el origen y condiciones de acceso a los fondos de inversión y/o soporte de temporales déficit de ingresos frente a los costos.

El cálculo de los componentes del flujo de fondos se enfrenta en cada proyecto, dentro del cual se distribuyen los componentes de inversión y costo compartidos y no se tienen incertidumbres al respecto.

Por cuanto se refiere al origen y condiciones de los recursos necesarios, el agente económico cuenta con líneas de crédito consolidadas con varios bancos comerciales privados y del estado⁶¹ y combina recursos de crédito con recursos propios, derivados o no de los proyectos de la granja integral. No se reporta una información detallada de la combinación de fuentes de recursos ni sobre sus tasas de interés, condiciones de pago, etc, por no considerarlos de interés dentro de este informe y por corresponder al Know – How financiero del agente. De todas maneras la Tasa Atractiva Mínima (TAM) ponderada, en términos nominales por año, bajo el supuesto de pagos anuales, es de 18%, intermedia entre los intereses ponderados de créditos bancarios, que constituyen el peso ponderado mayor y la rentabilidad media de las inversiones del agente económico.

A pesar de que se manejan algunos créditos y análisis financieros independientes por proyecto o frente de inversión, el enfoque general adoptado es el de unidad de caja, contabilidad única, único agente fiscal (RUT único).

6.4 EVALUACIÓN ECONÓMICA.

Con base en lo expuesto en la parte 6.3 se elabora la [tabla Excel Anexo 7](#). Dado que los proyectos tienen distinto año base (para el que se calculó el VPN de cada proyecto) y diferentes tiempos de vida útil se adoptó como estrategia de evaluación la elaboración de un único diagrama de flujo de fondos que integra los correspondientes flujos de cada uno de los proyectos y se adopta como año base el 2005 que es el más temprano de todos los proyectos. El año calendario es la primera columna de la tabla Excel Anexo 7, mientras la segunda corresponde a las inversiones de los proyectos objeto de este informe. La columna 3 corresponde a inversiones adicionales (ver tabla 25) para finca productiva, se introduce para evaluar si los proyectos pueden pagar esas inversiones. Las columnas 4, 5 y 6 corresponden a las utilidades reales después de impuestos y las columnas 7, 8 y 9 a los valores de salvamento, tomadas de las tablas Excel anexo correspondientes respectivamente a los proyectos de porcicultura, piscicultura y cultivo de palma.

Se recuerda que no hay inversiones ni ingresos de los proyectos de planta de alimentos y biodigestor – estercolero porque fueron involucrados en el proyecto de

⁶¹ Téngase en cuenta que se tiene acceso a FINAGRO y algunas líneas de FONADE para las operaciones de relativo largo plazo, créditos bancarios comerciales negociados para las operaciones de mediano plazo y créditos rotativos o de “supercrédito” para las operaciones de corto plazo.

porcicultura. Obsérvese que se toma hasta el año 2016 como horizonte de análisis por considerar que lo que ocurra después está sujeto a muchas contingencias y cambios de escenario.

Tabla 26. Inversiones adicionales de la granja como finca productiva.

COMPONENTE	DESCRIPCIÓN	VALOR ESTIMADO	Año DE INVERSIÓN
Casa de Habitación	Tiene tres secciones: una equivalente a vivienda estrato 4 (180 m ²) destinada a propietarios y gerente, otra equivalente a un estrato 3 (105 m ²) destinada al administrador y su familia y la tercera de estrato equivalente 2 (180 m ²) para albergar operarios.	90 000 000 ⁶²	2007
Adecuaciones decorativas	Portón y aislamiento, jardines, árboles de sombra y frutales, mobiliario arquitectónico rudimentario.	5 000 000	2007
Camioneta	Con capacidad de carga igual a una Ton. Adaptada para gas como combustible.	25 000 000	2006
Animales de trabajo	Mulares, cabalares y asnos.	5 000 000	2006
Animales para recreación y trabajo	Cabalares de paso y mascotas.	5 000 000	2007

Al calcular el valor presente neto en el año 2005 se puede observar que con una TAM de 18% anual nominal, se recupera la inversión de los proyectos en un poco más de tres años y que al incluir las inversiones adicionales de la Tabla 25, se recupera la inversión en un poco más de 5 años. Las respectivas TIR son 96,2 % y 52,25 %. Téngase en cuenta que al incluir los aportes de otros proyectos aún no analizados, como contribuyentes al pago de las inversiones complementarias, se puede obtener un tiempo de recuperación menor de las inversiones. En el momento de conocer esos aportes, se evaluará si además de poder pagar las inversiones como finca productiva se puede pagar inversión de finca recreacional.

6.5 ANÁLISIS AMBIENTAL INTEGRADO

⁶² El costo aparentemente bajo se debe a que el terreno cuesta poco y se utilizaron muchos materiales de la propia finca evaluados con precios locales que son bajos.

En la Figura 14 no se incluyeron las corrientes desde y hacia la naturaleza de la granja integral con los proyectos hasta ahora analizados; no obstante al recorrer los correspondientes diagramas de flujo, balances de masa y tablas excell anexas, para cada proyecto, se puede elaborar la tabla 26.

Tabla 27. Flujos Desde y Hacia Componentes del Ambiente de los Diferentes Proyectos

Corriente	Unidades	Flujo	Proyecto	Corriente Mercado
Agua	kg / año	2 150 676	Cerdos	90.000 kg de cerdo
CO ₂	kg / año	216 050,78	Cerdos	90.000 kg de cerdo
Evapotranspiración	kg / año	345 934,68	Cerdos	90.000 kg de cerdo
Residuos Sólidos	kg / año	669.004,75	Cerdos	90.000 kg de cerdo
Agua Residual	kg / año	1.666.927,25	Cerdos	90.000 kg de cerdo
Agua de Corrientes	kg / año	2 132 622 000	Peces	68.827,96 kg de pescado
Agua lluvia	kg / año	74.450.256,00	Peces	68.827,96 kg de pescado
Agua evaporada	kg / año	54.687.899,78	Peces	68.827,96 kg de pescado
Energía solar absorbida	kJ / año	134 215 043 635,78	Peces	68.827,96 kg de pescado
Agua lluvia	kg / año	53.740.000	Palma	290.377 kg racimo
Agua evaporada	kg / año	18.985.057,6	Palma	290.377 kg racimo
CO ₂ Integrado	kg / año	4.840.000	Palma	290.377 kg racimo
Energía solar absorbida	kW – h	258.785.000	Palma	290.377 kg racimo
Energía solar para fotosíntesis	kW – h	2.587.850	Palma	290.377 kg racimo
Residuos de Raquis	kg / año	19.359	Palma	290.377 kg racimo
Residuos de hojas	kg / año	83.243	Palma	290.377 kg racimo

□ Corrientes de residuos que se valorizan con la integración de los proyectos convirtiéndolos en corrientes de bienes útiles con valor económico y ambiental

□ Corrientes desde la naturaleza que mediante la integración en los proyectos se transforman en bienes útiles con valor económico

Se puede comprobar que son muy altos los flujos de bienes y servicios que los proyectos reciben de la naturaleza (y por tanto muy altos los contenidos unitarios de ambiente de los productos que salen al mercado) y que por el momento no se pagan por no tener ni un mercado ni un doliente interesado en cobrarlos y que si se juzga por su valor implícito, al internalizarlos en los análisis económicos cambiarían drásticamente los resultados, empezando por la TAM de referencia que sería notablemente inferior a la actualmente utilizada, obtenida ella sin incluir esos costos de los proyectos. Al incluir los flujos desde y hacia la naturaleza se beneficiarían los proyectos de largo plazo.

Es también muy significativo el número y flujos de las corrientes que, por la integración de los proyectos, pasan de ser un factor de impacto ambiental negativo a un factor

positivo de rentabilidad y de impacto ambiental. Igual reflexión se puede hacer con relación a la valorización económica a través de la granja integral, de corrientes desde la naturaleza.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Inicialmente se formularán conclusiones y recomendaciones directamente relacionadas con los proyectos analizados; en segundo lugar las referidas a la integración en una granja integral y en tercer lugar a ampliar la principal conclusión y recomendación de este trabajo. Dicha conclusión que aparece con fuerza después de la experiencia del presente trabajo de grado, se formula con las palabras del Doctor Brasileño Luis Cortez (Ingeniero Químico PhD) de la Universidad de Campinas, ante la pregunta sobre si la Ingeniería Química tiene algo que hacer en el sector agropecuario y/o agroindustrial.

“Definitivamente sí ... como ninguna otra rama de la ingeniería ... más ahora que antes ... y cada vez más hacia el futuro. Se puede recomendar sin duda a un Ingeniero Químico abordar los temas y fenómenos de esos sectores”.

7.1 CONCLUSIONES.

- ✱ Los diferentes proyectos, individualmente y en su conjunto son rentables y tienen altos márgenes de competitividad que se reflejan en los índices de sensibilidad. La rentabilidad es segura aún con escenarios desfavorables. El conjunto de los proyectos analizados pueden incluso pagar inversiones complementarias de la finca o granja, pensada como finca productiva. Aunque no se hizo el análisis correspondiente, los resultados sugieren que se podrían soportar inversiones con alguna dosis de enfoque de finca productiva y recreativa. La integración de los proyectos refuerza la rentabilidad y competitividad de todos y cada uno de ellos.
- ✱ Se desarrollaron instrumentos software de gran versatilidad y utilidad que pueden ser utilizados como instrumentos de acodamiento permanente al cambio de escenarios.
- ✱ Los ensayos preliminares hechos para aplicar análisis y síntesis de procesos a los correspondientes procesos orgánico – fisiológicos y para traducir el lenguaje de las ciencias y tecnologías medico – biológicas al de las ciencias y tecnologías de la ingeniería, asoman como muy atractivas para que las explotaciones de zootecnia y fitoproducción, dejen de ser “cajas negras” y para elaborar modelos de representación y análisis que incluyan en detalle las relaciones másicas, energéticas y en general de causa – efecto.
- ✱ Son muy significativos y sugestivos los flujos de intercambio con los componentes de la naturaleza, flujos que en buena parte, con la integración se convierten de corrientes contaminantes en corrientes de ingreso a otros componentes de la granja para finalmente convertirse en flujos con mercado y valor económico reconocidos.
- ✱ La integración de la cadena trófica es, probablemente, el mayor factor de ventaja económica y ambiental. Traducido a términos más directos: que puedan comer más barato las distintas especies hace más rentables los proyectos.
- ✱ Proyectos de zootecnia y fitoproducción como los de palma, cerdos, peces y otros, aumentan su favorabilidad económica y ambiental, con mínimos niveles de mecanización, automatización y tecnificación industrial.
- ✱ El paradigma del procesamiento, uso y consumo in situ de la producción del agro asoma como fuente de oportunidades de negocio, con proteccionismo natural derivado de la minimización de costos de transporte, del

aprovechamiento de microorganismos, plantas y animales, además de los componentes de la naturaleza (suelo, aguas, atmósfera, bosques, ecosistemas) como complejos industriales equivalentes locales muy eficientes.

- ✱ La integración másica, energética, administrativa y económica de diferentes proyectos agro y agroindustriales, tienen implícitas consecuencias y oportunidades de producción más limpia, en sus diferentes aspectos pero sobretodo en cuanto a reciclaje, reusos, minimización y valorización de residuos.
- ✱ La Ingeniería Química en general y el Análisis y Síntesis de Procesos en particular, asoman como un enfoque e instrumento de análisis de extraordinaria utilidad para la comprensión y representación de los fenómenos de los organismos vivos y de su interrelación con la economía y con la naturaleza.

7.2 RECOMENDACIONES.

- ✱ Aplicar la metodología ya aplicada a cuatro proyectos de la granja integral, a los demás proyectos de la misma y formular la integración y su análisis con un mayor valor de agregación.
- ✱ Evaluar la posibilidad de integrar en el análisis de la granja, proyectos de enfoque eco – turístico, con base en la cercanía del complejo hidrológico Quebrada La Gómez - Ciénaga de Paredes – Caño Peruétano – otras Ciénagas – Río Lebrija – Río Magdalena, con atractivos excepcionales además de la belleza de los espejos de agua y sus entornos, como, por ejemplo la presencia de manatíes.
- ✱ Las herramientas software desarrolladas, utilizadas en los proyectos estudiados con uno o dos escenarios, deben ser utilizadas con toda la diversidad de escenarios posibles, para convertirlas en instrumentos de planeación y optimización en condiciones de incertidumbre y de cambios permanentes, repentinos y a veces turbulentos; se podrían probar y utilizar metodologías de Monte Carlo o basadas en teoría de juegos.
- ✱ Se pueden aprovechar los cálculos y proyecciones hechas para flujos de impacto e intercambios con componentes del ambiente, para hacer evaluaciones eco – económicas que complementen las hechas solo con corrientes que tienen mercado identificado. La evolución de los mercados verdes y el perfeccionamiento de los ya existentes de sumideros de carbono, harán cada vez más factible atender la sugerencia hecha.
- ✱ Ante el cambio reciente del escenario energético, ante la oferta de suministro in situ de gas por tubería (desde gasoducto contiguo) se impone un análisis de las repercusiones posibles del uso de ese gas, para cada proyecto y para el conjunto de ellos.

BIBLIOGRAFÍA

- 1 ACEVEDO, P.A. y otros; Extracción de Palma de Aceite a Pequeña Escala en una Granja Integral, para Alimentos de Animales; Documento de Trabajo; UIS, Bucaramanga, 2005.
- 2 Acevedo, L.; La Microempresa como Alternativa para el Ingeniero Químico en Épocas de Crisis. Ponencia en el XIV Congreso Colombiano de Ingeniería; Agosto 15 – 18 de 1983, Bogotá.
- 3 ACEVEDO V., M. L. y otros; Diseño y Construcción de un biodigestor Tipo para la Zona del Magdalena Medio; Tesis De Grado de Ingeniería Mecánica; Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. 1997.
- 4 BAKER, A. D.; FUNDAMENTALS IN CHEMICAL PROCESS CALCULATIONS; New York; McMillan; 1947
- 5 BARRETO, A, y CASTELLO, H.P.; Pesca y Piscicultura en en Aguas continentales de América Latina; OEA, Secretaría General, Programa Regional de Desarrollo científico y Tecnológico; Washington, 1982.
- 6 BRUCHMANN, E. E.; Bioquímica técnica; química alimentaria, de las fermentaciones y agrícola ; Acribia; Zaragoza; 1980.
- 7 CAMACHO, J y MEDINA, M.; Construcción y Evaluación de un Biodigestor de Flujo Continuo con Desplazamiento Horizontal par Producir Biogas; Trabajo de Grado; UIS, Bucaramanga, 1982.
- 8 CELEDÓN MANOTAS, A., Curso Básico de Agricultura de Clima Cálido; Editado por COLCIENCIAS, Bogotá, 2000.
- 9 COULSON, J.M., RICHARDSON, J.F. y otros; Ingeniería Química, Tomos I y IIA, Editorial Reverté S.A., Barcelona 1979.
- 10 DÍAZ B., M.C., ESPITIA V., S.E. y MOLINA P., F.; Digestión Anaerobia, Una aproximación a la Tecnología; Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Junio de 2002.
- 11 ECHEVERRI PERICO, R,, Misión rural; Colombia en Transición; De la Crisis de convivencia: Una Visión desde lo Rural; IICA –TM Editores; Bogotá, 1998.
- 12 FLÓREZ M., J,A, y AGRAZ G., A.A.; Ganado Porcino I; Editorial Limusa, 4a Ed.; México; 1981.
- 13 GONZÁLEZ, J y PÉREZ, W.; Diseño, Montaje y Puesta en Marcha de Un Biodigestor Tubular para la Producción de Biogás; Trabajo de Grado, UIS, Bucaramanga, 1994.
- 14 HIMMELBLAU, D.M.; Process Análisis and Simulation: Detrmnistic Systems; John Wiley; New Cork; 1968.

- 15 INCODER (Instituto Colombiano d Desarrollo Rural); El Cultivo de la Tilapias Roja y Plateada; Cartilla y Folleto; Bogotá, 2004.
- 16 INCODER (Instituto Colombiano d Desarrollo Rural); El Cultivo de la Cachamas Blanca y Negra; Cartilla y Folleto; Bogotá, 2004.
- 17 INFANTE V., A.; Evaluación económica de proyectos de inversión; editorial Biblioteca Banco Popular (textos universitarios); 3ra edición, Bogotá, 1968.
- 18 KERN, D.Q.; Process Heat Tansfer; McGraw Hill; Londres, 1950.
- 19 KOESLAG, J.H. y otros; Porcinos; (de la Serie: Manuales para la Educación Agropecuaria), Editorial Trillas S.A. México, 2002.
- 20 MAXZANI, Bruno; Plantas Oleaginosas; Salvat Editores S.A. Madrid; 1963.
- 21 NODO DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA DE SANTANDER; Manual de producción más limpia en porcicultura, sacrificio informal de aves, fundición y procesamiento de madera. Bucaramanga, 2002.
- 22 NIÑO, R. y VILLAMIZAR, G.; Planta de Biogás para la Vereda El Pozo, Municipio de San José de Miranda; Trabajo de Grado, UIS, Bucaramanga, 1994.
- 23 RAMÍREZ, A., Marcela (Ed.); Manual Cría de la Lombriz de Tierra (Colección Cuidando la Creación); Ed. San Pablo; Bogotá, 1995.
- 24 REYNOLDS, W.C. y PERKINS, H.C.; Ingeniería Termodinámica; McGraw Hull, México, 1977.
- 25 ROSENBERG, J. I.; PHOTOSYNTHESIS; THE BASIC PROCESS OF FOOD MAKING IN GREEN PLANTS.; Holt, Rinehar and Winsto; New York; 1965.
- 26 RUDD, D.F.; Process Synthesis; Englewood Cliffs – Prentice Hall; New York, 1973.
- 27 RUDD, D.F.; Strategy of Process Engineering; John Wiley; New York, 1968..
- 28 STANIER, R.Y., DOUDOROFF, M. y ADELBERG, E.A.; The Microbial World; Prentice Hall Inc., New York, 1961.
- 29 SOLLA S.A.; Manual de Piscicultura para Clima Cálido; Versión de 2005; Bogotá, 2006.
- 30 Universidad Tecnológica de Pereira – GTZ (Ed.); Suelos del Eje Cafetero; UTP. Editorial; Pereira, 2001.
- 31 VALLES, S y otros; Producción de Metano por Fermentación Anaeróbica (Descripción del Proceso, Cinética del Proceso, Estudio de la Tecnología); Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos. Vol. 20. Números 2,3 y 4; (pp 189-208; 325-344; 469-480); Madrid, 1980.

- 32 VOGEL, H. c. (Ed.); Fermentation and Biochemical Engineering Handbook; Principles, Process Design, and Equipment; Noyes, Park Ridge; 1983.

PÁGINAS WEB

- 33 30 <http://www.pdpmm.org.co/mmed/region.htm> (Balances de masa y energía de plantas)
- 34 <http://agronomia.uchile.cl/extension/explora2003/files/Gu%EDa%2013.pdf> (Balance de energía solar)
- 35 <http://www.incae.edu/ES/clacds/investigacion/pdf/cen741.pdf> (carbono integrado a plantas)
- 36 <http://homepage.mac.com/uriarte/metabolismo.html> (Impacto Ambiental de seres vivos)
- 37 <http://www.monografias.com/trabajos10/suelo/suelo.shtml> (Impacto ambiental plantas)
- 38 www.banrep.gov.co
- 39 www.agrocadenas.gov.co
- 40 www.incoder.gov.co
- 41 www.fao.org

INFORMACIÓN PRIMARIA

- 42 IDEAM; Estación Meteorológica de Barrancabermeja; Información climática sobre la Zona de Sabana de Torres
- 43 SOYA S.A. Especificaciones y Características Nutricionales de Alimentos para Animales

ANEXO A ESCENARIO Y METODOLOGÍA DEL ESTUDIO DE LOS PROYECTOS

A.1. GRANJA INTEGRAL

El concepto de granja involucra paradigmas y enfoques que se enriquecen mutuamente. En primer lugar es una reacción ante los éxitos solo temporales y fracasos definitivos de la llamada revolución verde que predicaba que en un determinado lote solo debía haber una especie vegetal y la presencia de cualquiera otra se combatía agresivamente; los monocultivos persistentes en los mismos terrenos terminaron por agotarlos; en el contexto de granja integral se recurre a la alianza, simbiosis, compensaciones y complementaciones entre especies vegetales y entre estas y las animales. En segundo lugar se involucran conceptos de desarrollo ambientalmente sostenible con escala múltiple de análisis temporal y espacial, con respeto a los límites de resiliencia y de reversibilidad de los ecosistemas y al respeto de los ciclos de la naturaleza. En tercer lugar aplica enfoques de mercados y productos verdes, de producción orgánica y de producción más limpia en sus diferentes direcciones: minimizar consumos y residuos, reciclar, valorizar corrientes, prácticas operacionales ambientalmente favorables, etc. Así mismo se acogen enfoques de seguridad alimentaria, de autosuficiencia nutricional local, minimizando transportes, de alimentación sana, con contenidos sociológicos, socioeconómicos y de participación comunitaria. En síntesis, sin pretender haber agotado las inspiraciones de las granjas integrales, consisten en aprovechar áreas mediante el uso de tecnología eficiente, con alianza de diferentes frentes de producción, del uso de la casa, del intercambio con la naturaleza, de manera sistemática.

Con la granja integral se busca diversificar e integrar la producción agraria para aumentar las fuentes de ingreso y no depender exclusivamente de un producto. Así, al dañarse una cosecha o caer el precio en el mercado puede recurrirse a otro producto de la granja; esto es un seguro contra los imprevistos tan comunes en el sector agropecuario. Otro aspecto positivo es aumentar la variedad de productos, lo cual contribuye al mejoramiento de la vida campesina, a una mejor alimentación y no es necesario comprar aquello que puede producirse en la granja.

La granja debe verse como un todo, como un conjunto de elementos en el que se integran la familia campesina, el agua, el suelo, la producción vegetal y animal, respetando la naturaleza. Las labores se deben llevar a cabo con la mano de obra que genera la familia campesina y de la organización, empeño y perseverancia que aquella ponga en la granja dependerá el éxito de la misma.

Las principales ventajas del manejo de granjas integrales son:

- ✿ Uso óptimo de los recursos existentes en la finca; tierra, agua, mano de obra, animales, etc.
- ✿ Diversificación e integración de rubros agrícolas, pecuarios y forestales con el fin de autoabastecerse de alimentos y mejorar los ingresos.
- ✿ Preserva el ambiente.
- ✿ Aumento del rendimiento por área, por cultivo.
- ✿ Aumento del ingreso de la familia rural.

A.2. ESCENARIO GEOECONÓMICO DEL PROYECTO

La Finca donde se localizarán las instalaciones y actividades agropecuarias objeto del presente trabajo de grado, está en las veredas Veracruz y Campo Tigre, del municipio de Sabana de Torres, Departamento de Santander, a 20 Kilómetros de distancia por carretera destapada, desde el Corregimiento La Gómez⁶³ hacia la estación ferroviaria denominada “El Ochenta”. Desde la casa de habitación de la finca hasta la estación “El ochenta” la distancia por carretable es de 2,4 kilómetros.

A.2.1. SABANA DE TORRES

Sabana de Torres, en el contexto del plan de desarrollo del Departamento de Santander, es uno de los vértices de lo que se ha venido en denominar el Triángulo de Desarrollo del Magdalena Medio Santandereano (los otros dos vértices son Puerto Wilches y Barrancabermeja) y en el contexto de un análisis geoeconómico de Colombia es el centro geográfico del país, donde se anuncia se van a desarrollar diferentes proyectos tales como la construcción del aeropuerto internacional de carga y de “la supervía” desde Bucaramanga a la Troncal de La Paz, que unida a la carretera por el alto del Escorial (en proyecto) y el Puente Barrancabermeja – Yondó, sobre el río Magdalena (en construcción), tienden a completar la dimensión oriente – occidente de la comunicación y la economía nacional, hacia el cumplimiento del viejo sueño macroeconómico de unir el lago de Maracaibo con el Océano Pacífico. Si se añade al escenario que se termine de recuperar y activar la ferrovía y la navegabilidad, puertos y uso intenso del río Magdalena, se completa un panorama prometedor en el mediano y largo plazo. Sabana de Torres se convertiría así en el cruce de las dimensiones norte – sur y oriente – occidente de la economía nacional, convergencia de los ejes Bogotá – Costa Atlántica (Barranquilla, Cartagena y Santa Marta, principalmente) y el ya mencionado Maracaibo – Puertos sobre el Pacífico o, en términos más caseros Cúcuta y Bucaramanga – Medellín, Eje Cafetero y Cali.

Sabana de Torres hace parte de la provincia de Mares conformada además por los municipios de Barrancabermeja, San Vicente, El Carmen, Zapatoca, Betulia y Puerto Wilches. Está ubicado a 130 Km. de Bucaramanga, por carretera pavimentada⁶⁴ con cabecera municipal a 8 Km. de la troncal de la paz o del Magdalena Medio. Es un importante productor de petróleo además de las ya mencionadas arenas aptas para procesar el vidrio. En la Tabla A1 se presentan algunas características del municipio.

⁶³ El corregimiento La Gómez era una muy próspera estación del ferrocarril que unía a Bucaramanga con la ferrovía Bogotá Santamaría, centro de acopio de minerales auríferos, arcillas y cerámicos, así como de arroz y ganado que se despachaban por tren. Hoy día es el punto de la Troncal de La Paz o del Magdalena Medio, desde donde arranca la vía que conduce a la cabecera municipal, vía que tiene cerca de 8 Kilómetros de longitud. La Gómez está localizada en el kilómetro 36 de la Troncal de La Paz, medidos desde el cruce “La Fortuna” donde dicha troncal se intercepta con la carretera que de Bucaramanga va a Barrancabermeja; en dirección norte de la troncal, dos kilómetros delante de “La Gómez” se encuentra el peaje con el mismo nombre “La Gómez”.

⁶⁴ Con la posible supervía Bucaramanga – Troncal del Magdalena Medio, Sabana de Torres quedaría a unos 45 kilómetros desde Bucaramanga. .

Tabla A1. Características de Sabana de Torres

Latitud	Longitud	Altura	Temperatura	Gentilicio	Extensión	Población Aproximada
7 grados 24"	73 grados 26"	110 msnm	28 ° C	Sabaneros	5.131 Kms2	20.670 Habitantes

Fuente. Corporación Autónoma Regional de Santander

A.2.1.1. La Gómez

“La Gómez” está situada en el kilómetro 36 de la Troncal de La Paz, contados desde el sitio “La Fortuna” que a su vez es el cruce entre la Troncal de la Paz y la Carretera que de Bucaramanga conduce a Barrancabermeja. Dos kilómetros al norte se localiza el Peaje con el mismo nombre: “La Gómez”. 53 kilómetros al norte desde “La Gómez”, la Troncal de La Paz converge con la tradicional Troncal del Oriente, parte de la vía antigua Bogotá – Costa Atlántica que pasa por Bucaramanga; la convergencia coincide prácticamente con la cabecera municipal de San Alberto, departamento del Cesar.

“La Gómez” fue una importante estación de la ferrovía que de Bucaramanga conducía hasta la conexión con la línea férrea principal del país Bogotá – Santa Marta. Dicha línea hoy prácticamente perdida, constituye de todas maneras el más probable trazado y corredor para la ya referida “supervía”. La estación tuvo una pujanza económica notable, en una época como centro de acopio y gestión de una de las más dinámicas zonas arroceras del país y de la cual sobreviven cultivos dispersos de alguna importancia; en otra época y con traslapes temporales con la anterior, como centro de acopio y despacho por tren de materiales minerales auroargentíferos (hacia Bucaramanga y Bogotá), arcillas y feldespatos (con diferentes destinos) y arenas silíceas aptas para la producción de vidrio y cerámica (con destino a Medellín). Actualmente “La Gómez” es el punto donde se unen a la Troncal de La Paz con:

La carretera pavimentada de 8 kilómetros que une a la Troncal de La Paz con la cabecera municipal de Sabana de Torres.

La carretera ya mencionada que conduce a la estación “El Ochenta” (continúa con bifurcaciones hasta el corregimiento El Cerrito y hacia múltiples puntos de las veredas bajas del municipio de Sabana de Torres) y a la ciénaga de Paredes.

La carretera que sigue de cerca la antigua ferrovía, va a la antigua estación y corregimiento de Sabaneta y continúa hasta conectarse con la ferrovía central Bogotá – Santa Marta.

Carreteables que van a diferentes veredas de Sabana de Torres, tanto al oriente como al occidente de la Troncal de La Paz.

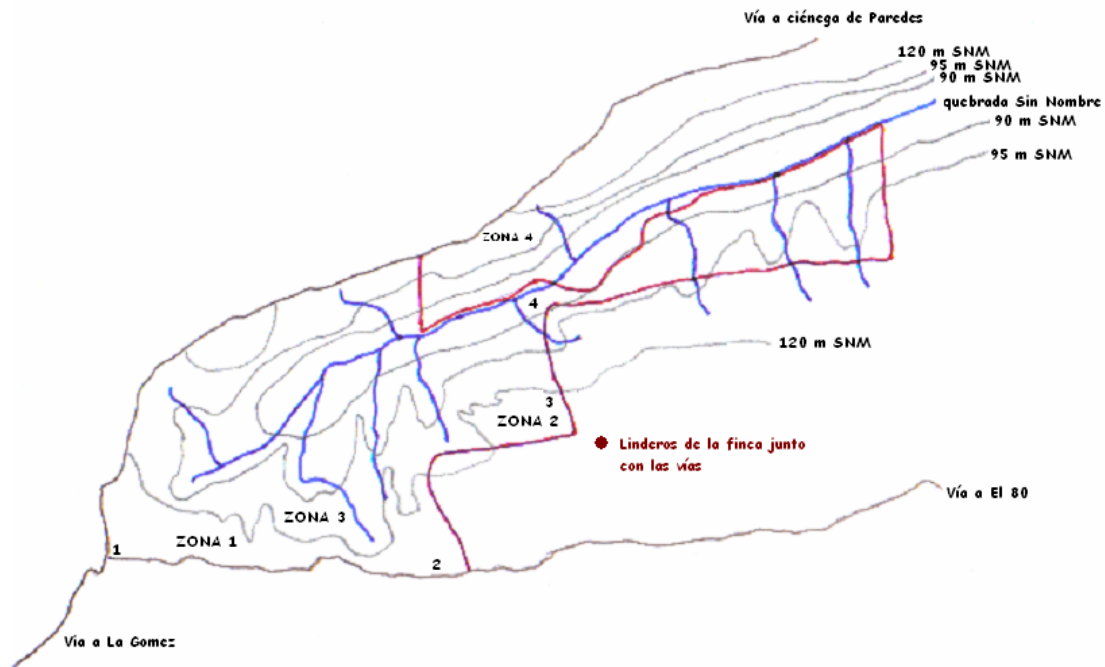
A.2.1.2. La Finca.

En la Figura A1 se tiene un mapa esquemático de la finca objeto del presente estudio, con algunas características y detalles considerados pertinentes. En general la finca es parte de la cuenca de la quebrada “Sin Nombre” que nace en la misma finca de manera que comprende la parte extrema sur de esta cuenca incluyendo las vertientes oriental y occidental y continúa hacia el norte con solo una parte de la cuenca oriental de la cuenca.

Una de las esquinas de la finca (la sur oriental, punto 1 en el mapa de la figura 3) es la bifurcación vial denominada “La Flecha”, desde donde un carreteable conduce a la

ciénaga de Paredes y el otro es precisamente el que va a “El Ochenta”; los dos carreteables referidos constituyen a la vez límites parciales de la finca y son además fillos de división de aguas de la cuenca de la quebrada “Sin Nombre” con cuencas vecinas: la de la quebrada “La Gómez” sobre la carretera a la ciénaga y la de la quebrada “La Ramírez” para la carretera hacia El Ochenta.

Figura A1. Mapa esquemático de la finca.



La casa de habitación de la finca se localiza prácticamente en otra “punta” o esquina (centro – nororiental, punto 2 en el mapa de la figura 3) y en ese punto específico las coordenadas de georeferenciación son: 7° - 27' - 21,2" de latitud norte, 73° - 39' - 46,7" de longitud este y 128 m de ASNMM. Alrededor de la casa se concentran las instalaciones, el cultivo de palma, las redes de servicios y es el punto de partida del mejoramiento de pastos y de cultivos de largo aliento (frutales y silviculturales).

Otro punto que se podría considerar como “esquina” (centro – norte, punto 3 del mapa de la figura 3) de la finca es a la vez el punto de mayor altura de la misma y tiene como coordenadas georeferenciadas: 7° - 27' - 43,9" de latitud norte, 73° - 40' - 29,9" de longitud este y 140 m de ASNMM.

Una cuarta esquina o punta de la finca (el centro – noroccidental, punto 4 de la figura 3) de la finca corresponde al punto de menor altura de la finca, punto de salida de todas las aguas y tiene como coordenadas georeferenciadas: 7° - 27' - 18,5" de latitud norte, 73° - 41' - 27,9" de longitud este y 88 m de ASNMM⁶⁵.

⁶⁵ Localizado en finca de propiedad de parientes y antiguos socios de la finca, está un punto de nacimiento de agua que puede regar por gravedad la vertiente occidental de la quebrada sin nombre y por esta razón se consignan sus coordenadas georeferenciadas que son: 7° - 26' -

En términos globales la topografía de la finca tiene cuatro partes: 1. El costado sur oriental de la finca y de la cuenca que es una terraza relativamente plana y de anchura muy variable, 2. El sector nororiental de la finca, cuenca oriental de la quebrada que es también una terraza de altura ligeramente superior a la parte 1, de ancho más uniforme que aquella; geográficamente las partes 1 y 2 están unidas pero entre ellas se localiza un predio que no es parte de la finca. 3. Área de pendientes muy variables y zonas onduladas, que rodea y desciende a la parte 4 o valle de la quebrada; incluye la superficie intermedia entre, por un lado las partes 1, 2 y, por otro lado, la parte 4 de la finca; continúa con el extremo sur de la finca contra la carretera a la ciénaga y termina con la superficie intermedia entre la zona 5 y la 4; en esta parte de la finca nacen y corren todas las corrientes de agua de la finca, transitorias o permanentes, incluida la quebrada “Sin Nombre”. 4. El valle relativamente plano de la quebrada “Sin Nombre”; incluye los sectores cercanos de la cuenca separados por la quebrada; incluye lechos de baja pendiente de las corrientes de agua y las desembocaduras de las demás en la quebrada “Sin Nombre”. 5. Costado centro occidental de la finca, en la cuenca occidental de la quebrada, contra la carretera que lleva a la ciénaga; es una franja de anchura variable de relieve accidentado que contiene pequeñas mesetas y pequeñas terrazas cercanas a la carretera y pequeños cañones y concavidades entre mesetas y terrazas.

A.3. METODOLOGÍA DE SÍNTESIS Y ANÁLISIS DE PROCESOS

El propósito de la Ingeniería química es crear nuevos productos. Para llevar a cabo esta meta se utilizan tanto la vía química como la biológica. Los procesos y diseño de planta son las actividades creativas mediante las cuales generamos ideas para traducirlas en equipos y procesos para producir nuevos materiales o para mejorar significativamente el valor de los materiales existentes.

Quizá la mayor diferencia entre un problema de diseño y otros tipos de problemas de ingeniería, es que los problemas de diseño no están totalmente definidos, esto es, que solo una pequeña fracción de la información necesaria para definir un problema de diseño está disponible en el enunciado. Por ejemplo, un químico descubre una nueva reacción para crear un producto ya existente o descubre un nuevo catalizador para una reacción muy comercial, y nosotros queremos traducir estos descubrimientos en nuevos procesos. Así nosotros comenzamos solo con el conocimiento de las condiciones de la reacción que obtenemos de los químicos, así como alguna información acerca de lo viable de las materias primas y productos que obtenemos del estudio de mercados, y luego necesitamos obtener toda la información necesaria para definir el problema de diseño. Para obtener esta información, debemos suponer qué tipo de unidades de proceso debemos utilizar, cómo estas unidades van a estar interconectadas y a qué temperatura, presiones, caudales, etc. Ésta es la síntesis de actividades la cual es difícil porque la incertidumbre es muy alta. Por lo tanto el diseño de procesos es una actividad que toma su tiempo.

Normalmente debemos buscar una alternativa que sea económicamente rentable, garantizando que el proceso sea seguro, amigable con el medio, fácil de arrancar, fácil de operar, etc.

72,6” de latitud norte, 73° - 41’ - 56,2 “ de longitud este y 110 m de ASNMM. En la Figura aparece como punto 5.

En algunos casos se hace necesario emplear reglas heurísticas para eliminar incertidumbre, pero siempre es mejor diseñar varias alternativas y compararlas mediante el estudio de costos. Diseñadores experimentados logran minimizar el esfuerzo requerido por este tipo de evaluaciones porque ellos a menudo predicen los costos de una unidad particular, o grupo de unidades por analogía con otros procesos. Sin embargo los diseñadores principiantes normalmente deben diseñar y evaluar más alternativas para hallar la mejor. Cuando los diseñadores experimentados se enfrentan a una nueva situación donde no es fácil utilizar analogías, tratan de usar atajos como acudir a firmas de ingenieros para obtener información base que les permita desarrollar varias alternativas para evaluarlas posteriormente. Este regreso a las bases de cálculo es utilizado solo en los casos en que sea necesario. Luego si el proceso parece ser provechoso, se realizan más cálculos de diseño rigurosos para desarrollar el diseño final sabiendo que éste ha de ser la mejor alternativa.

Teniendo en cuenta la naturaleza de la síntesis y análisis de procesos, expuesta anteriormente, reconocemos que el diseño de procesos es un proceso creativo. Dónde primero se realiza un bosquejo; es decir, queremos identificar las partes más costosas y los valores límites del estudio de mercados y económico. En seguida, evaluamos nuestra primera suposición para un diseño, generando varias alternativas y por ende varios procesos alternativos. De esta manera damos una mirada general antes de empezar a añadir detalles a nuestros diseños. Luego añadimos más modificaciones (de ser necesario) y evaluamos las alternativas, usamos diseños y análisis de costos más rigurosos para los equipos más caros, mejoramos la exactitud del balance de masa y del balance de energía para poder añadir pequeños detalles como los equipos pequeños que son necesarios para el proceso (operación) que no han de tener mayor impacto en el costo total de la planta. Así podemos decir que el proceso de diseño procede a través de una serie de síntesis y de etapas de evaluación sucesivas más detalladas. Thatcher se refiere a una estrategia de solución de este tipo como refinamientos sucesivos y la llama método ingenieril. Nótese que como hacemos refinamientos sucesivos es importante mantener en mente el problema general.

Si una mejora del proceso requiere de mucho esfuerzo adicional, el esfuerzo será conveniente solo si el valor agregado que va a generar es lo suficiente como para que lo amerite. Otra característica es que no existe una única solución, normalmente diferentes rutas de procesos pueden ser usadas para producir el mismo químico a prácticamente el mismo costo. Hay que tener juicio para saber que tanto detalle debe ser incluido en cada una de las etapas.

Por supuesto numerosos principios científicos son usados en el desarrollo del diseño, pero la actividad general es un arte. De hecho es esta combinación de ciencia y arte la que ayuda a hacer el proceso de diseño un fascinante reto para el ingeniero.

A.4. EVALUACIÓN ECONÓMICA DE PROYECTOS DE INVERSIÓN^[16]

Un proyecto de inversión es la oportunidad de entregar ciertos fondos a cambio de recibir otros fondos. Estas asignaciones o egresos se requieren en ciertos momentos precisos y los recibos o ingresos se obtienen también en ciertos momentos precisos. La evaluación de un proyecto de inversión busca saber acerca de la conveniencia de embarcarse en cierta alternativa de inversión considerándola aisladamente, cuál de los proyectos de inversión que tengo a mi disposición es más conveniente y cuál de

las alternativas es la mejor desde el punto de vista económico cuando estas alternativas son mutuamente excluyentes.

ANEXO B

COMPLEJO DE DIGESTIÓN DE LOS ALIMENTOS^[6,9]

Al intentar describir el proceso de digestión de los cerdos como un complejo industrial análogo, con procesos, operaciones y equipos análogos, se comprueba su gran complejidad. A esa conclusión se llega independientemente de si se tienen propósitos de análisis y síntesis, representación mediante modelos matemáticos y/o lógicos, de simulación, de diseño, de optimización, de control, de construcción y puesta en marcha de complejos antrópicos equivalentes para producción o para experimentación, o simplemente para descripción del complejo,

B.1. DIGESTIÓN SALIVAL

El primer paso de la digestión es la entrada de los alimentos a la boca, que corresponde al transporte de los mismos desde los depósitos constituidos por los comederos o bebederos, mediante procesos que dependen del grado de agregación del alimento mismo y que van desde succión para líquidos hasta captura por sistemas equivalentes a retroexcavadoras para los sólidos secos o húmedos. El segundo paso es la masticación que combina operaciones de reducción de tamaño con las de volteo y mezclado para obtener un producto alimenticio desmenuzado en pequeñas partículas que ofrezcan una mayor superficie de contacto a la sucesiva acción de los jugos digestivos; precisamente el primer jugo digestivo que entra en íntimo contacto con los alimentos es la saliva, producto segregado por las glándulas salivales y las células de la mucosa bucal, equipos y operaciones equivalentes de otro proceso análogo que se debe analizar separadamente y después integrarlo con la digestión.

El análisis químico permite conocer algunas de las especificaciones de ese flujo como que se compone de agua (99.41%) y sólidos (0.59%). Los sólidos consisten en mucina, células epiteliales, materia orgánica soluble (0.35%) y sales inorgánicas (0.219%). Las cenizas de la saliva contienen potasio en abundancia y cantidades apreciables de sodio, calcio y magnesio. La saliva contiene también la enzima ptialina (amilasa salival). El pH no se aleja nunca de 7, ya que los fosfatos y los carbonatos actúan como amortiguadores y mantienen la reacción de digestión salival en un punto neutro o muy próximo al mismo. El espacio bucal de los cerdos es también, entonces, un reactor.

En los cerdos, al igual que en muchas otras especies, la saliva actúa de dos maneras distintas; como lubricante que favorece el proceso de la deglución y como coadyuvante en la digestión de los amiláceos. La enzima amilolítica, tialina, empieza a provocar la hidrólisis del almidón en cuanto los alimentos, finamente divididos, se mezclan íntimamente con la saliva.

El sistema de control para seleccionar qué sí y qué no se ingiere y de la velocidad de alimentación a la boca, involucra un complejo conjunto de muestreo y sensores de muy alta resolución, que típicamente miden concentraciones de volátiles y de solubles (papilas gustativas, nervios olfativos, nervios ópticos), transmisión de señales (sistema óptico externo, sistema nervioso) y el cerebro (como intérprete de señales y emisor de comandos de acción a los diferentes equipos del complejo boca).

El sistema de control del tiempo de residencia en la boca y por tanto de los tiempos de molienda, mezclado y reacción inicial, dependen de un sistema integrado centralizado

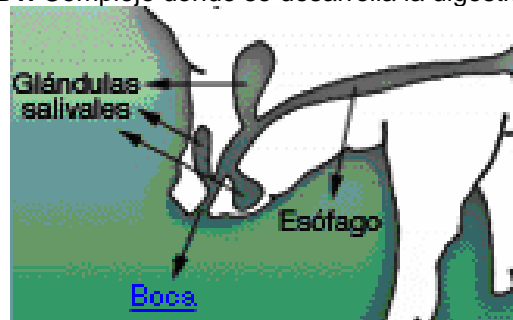
en otro complejo que es el cerebro y los alimentos se ingieren con tanta rapidez que la digestión salival carece del tiempo necesario para que la saliva actúe del todo sobre los mismos, antes de que abandonen la boca y por esto la mayor parte de la digestión salival se realiza después que los alimentos han alcanzado el estómago pasando a través del esófago y antes de que cese la actividad enzimática salival, la cual se inhibe por la acumulación de ácido clorhídrico segregado en el estómago.

La operación de deglución e impulso de los alimentos a través del esófago, difícilmente tiene un equivalente industrial pero combina efectos de impulso de la lengua que actúa en forma análoga a una bomba de diafragma, de creación de diferencias de presión, creación de vacío mediante la salida de aire por la boca misma y por las fosas nasales, fluidización, sincronización de válvulas de cheque que impiden que el alimento regrese, efecto de impulso por movimientos peristálticos del esófago y un tubo de conducción flexible, de paredes lisas, bien lubricado y fino diseño de detalles. Se utiliza la acción de la gravedad para facilitar la operación y para ello se debe tener una localización y distribución adecuada del sistema en su conjunto que es el cerdo. El tiempo de transporte en el esófago es también tiempo de digestión salival mientras simultáneamente se complementa la mezcla iniciada en la boca.

En conclusión, la digestión salival corresponde al primer proceso equivalente del complejo denominado digestión y esquemáticamente se podría representar por la Figura B1. Mediante la digestión salival, cuya primera etapa se desarrolla en la boca, la etapa intermedia en el esófago y la última etapa se desarrolla en el estómago, especialmente en la parte de este denominada cardias, se obtienen dextrinas de bajo peso molecular, maltosa y glucosa que vienen de la acción de la tialina sobre el almidón que cataliza el proceso hidrolítico. La porción cardial del estómago posee una estructura plegable y actúa como un reactor por cochedas. Cuando esta porción se llena enteramente de comida, y a medida que se degluten nuevas cantidades, van encontrando ocupadas las paredes del estómago. En consecuencia, las nuevas porciones alimenticias son recibidas en el interior del estómago, mientras que una parte de la misma queda retenida en la región cardial y se mezcla posteriormente con las nuevas porciones que vienen desde el esófago.

Luego cuando los alimentos ya se encuentran en el estómago, se realizan movimientos musculares (peristalsis) que no es más que una operación de mezclado. Sin embargo, dado que el mezclado no ocurre inmediatamente, el jugo gástrico secretado por las células de las paredes gástricas no puede mezclarse por algún tiempo con los alimentos y por consiguiente la digestión salival sigue actuando por algún tiempo.

Figura B1. Complejo donde se desarrolla la digestión salival.



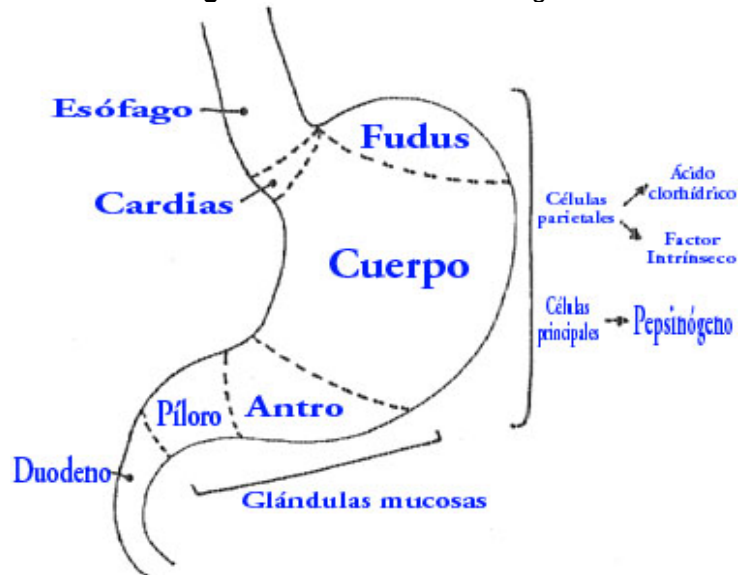
Fuente. www.puc.cl/sw_educ/prodanim/digestiv/m15fii3b.gif

B.2. DIGESTIÓN GÁSTRICA

El estómago posee una capacidad que varía entre 6 y 8 litros en animales adultos. La porción superior del estómago recibe el nombre de fudus (Figura B2) y es en esta porción donde se agrega la mayor parte de la pepsina gástrica (enzima proteolítica). En esta sección se van tratar las proteínas contenidas en el alimento ingerido. Se puede hacer la analogía con un reactor batch cuyas paredes son a su vez pequeños reactores que producen y suministran con flujo regulado los componentes del jugo gástrico. La localización y distribución en planta de las células reactores de las paredes determinan zonas de comienzo, zonas de iniciación y zonas de progreso de la digestión gástrica. En el reactor se recibe el sustrato y se le agregan el catalizador y algunos reactivos. En este caso el catalizador sería la pepsina y los reactivos serían las proteínas del alimento junto con el ácido clorhídrico (que actúa como activador). Las células que producen la pepsina se denominan células principales. Otras células, llamadas células parietales o de revestimiento, son las que producen el ácido clorhídrico. El jugo gástrico normal es un líquido incoloro, transparente, de reacción ácida que se compone principalmente de cloruro sódico, cloruro potásico, fosfatos y la enzima pepsina. La acidez del jugo gástrico es debida al ácido clorhídrico libre que es imprescindible para que actúe con la máxima actividad la proteasa gástrica pepsina y evite la fermentación en el estómago.

La pepsina es la única enzima importante del jugo gástrico. No es secretada como pepsina activa, sino que primeramente aparece en una forma inactiva llamada pepsinógeno. Cuando el pepsinógeno entra en contacto con el ácido clorhídrico, se forma pepsina activa. La pepsina es muy activa en medio ácido (sin importar que ácido esté presente en su medio) y la concentración de ácido clorhídrico mas adecuada para su actividad oscila entre 0.1 a 0.25 por ciento (pH 1.5-2). La pepsina se inactiva con un pH superior a 6. El rango de temperatura ideal de esta enzima es 38 – 40 °C.

Figura B2. Partes del estómago.



Fuente. <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/es/d/de/Estomago2.jpg>

La reacción que se produce en este reactor (es decir el fudus) es una catálisis hidrolítica de las proteínas, es decir que se desdoblán las moléculas proteicas en proteosomas y peptonas. Algunos péptidos y aminoácidos se encuentran en la mezcla digestiva, pero el mayor volumen del hidrolizado está compuesto por peptonas, las cuales son solubles en agua. Las proteínas que no poseen el enlace peptídico, que incluye los aminoácidos tirosina y fenilalanina, no son hidrolizadas fácilmente por la pepsina. Los azúcares simples no parece que aumenten durante la verdadera digestión gástrica, ni tampoco parece que exista una hidrólisis apreciable de los lípidos. Mediante la acción del ácido clorhídrico puede verificarse durante la digestión gástrica la inversión de pequeñas cantidades de sacarosa. Se verá pues que luego de un tiempo de residencia regulado por el cerebro, el quimo ácido (contenido gástrico en estado líquido) puede consistir en proteínas, grasas e hidratos de carbono que hayan resistido la digestión, y, además, en proteosomas, peptonas, péptidos, aminoácidos y azúcares simples.

Cuando el quimo ha alcanzado el grado de fluidez y acidez necesarias, la válvula pilórica se abre intermitentemente (válvula de cheque) y el contenido gástrico pasa al duodeno. El primer borbotón de quimo ácido que entra en contacto con la mucosa intestinal desencadena la secreción de jugo duodenal y activa la siguiente fase de reacciones conocida como la digestión intestinal.

B.3. DIGESTIÓN INTESTINAL

El intestino delgado se puede considerar como una combinación de reactor tubular, mezclador y transportador mecánico con múltiples descargas laterales, cada una de ellas dotada de los correspondientes mecanismos de impulso y filtración de los componentes de salida. Tiene una longitud de 20 m en animales adultos y una capacidad de nueve litros. En ese complejo a medida que el sustrato lo atraviesa se le agregan los reactivos y catalizadores para lograr las transformaciones necesarias. Estos reactivos y catalizadores serían los tres jugos digestivos que desempeñan un importante papel en la digestión intestinal: el jugo pancreático, la bilis y el jugo intestinal.

Cuando el quimo ácido se introduce en el duodeno (primer tramo del intestino delgado), parte de las proteínas, grasas e hidratos de carbono están intactos, y parte están parcialmente hidrolizados. El objetivo es que al terminar el recorrido a través del reactor tubular el quimo ácido se transforme en las formas más simples y solubles, de modo que la digestión intestinal complete lo que iniciaron las digestiones salival y gástrica, y ponga en marcha aquellas transformaciones que todavía no han ocurrido. A lo largo del intestino delgado el ácido del quimo se neutralizará gradualmente por el contenido alcalino del intestino, y a medida que se van mezclando los jugos digestivos, la masa es empujada a lo largo del intestino por las contracciones musculares peristálticas que recorren el intestino de arriba abajo (por esto se considera que funciona como transportador mecánico, sin que sea conocido un transportador industrial equivalente).

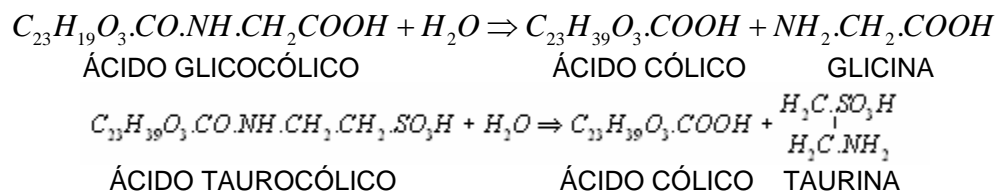
Las paredes del duodeno están formadas por células que actúan como pequeños reactores que secretan el jugo duodenal, que consiste en una secreción albuminosa de reacción alcalina. En el jugo duodenal está presente una sustancia termolábil, llamada enterocinasa. También está comprobado que el tejido intestinal libera una hormona química llamada secretina, cuando el contenido ácido del estómago llega a

las paredes intestinales. Esta hormona estimula la actividad secretora de la glándula pancreática por vía hemática y estimula la secreción de líquido y bicarbonato. Algunos autores sostienen la existencia de otra sustancia de naturaleza hormonal, llamada pancreozimina, la cual se cree que estimula la producción de enzimas pancreáticas. Otra hormona secretada en el duodeno es la colecistoquinina, que es la encargada de activar el paso de bilis hacia el duodeno. Las enzimas secretadas en el jugo intestinal son: sacarasa, maltasa y lactasa, peptidasas, fosfatasa, la nucleasa, la nucleotidasa y la nucleosidasa.

En el duodeno, se encuentra el orificio del conducto pancreático. Como ha de suponerse, el conducto pancreático viene desde el páncreas. El páncreas es una glándula de forma tubular (reactor) que vierte su jugo digestivo en el intestino de una manera intermitente (válvula de cheque). Este reactor es activado mediante los tres sistemas de control (hormonas) anteriormente mencionados. El jugo pancreático es un líquido claro y alcalino que se coagula por el calor. Su alcalinidad es debida a la presencia de bicarbonato sódico, y la fracción coagulable consiste en proteína, que, en algunos casos, existe en cantidad suficiente para formar un coágulo sólido al ser calentada. Las propiedades digestivas de este jugo, se deben a tres clases de enzimas: las que actúan sobre las proteínas y los productos de su degradación (proteasas), las que digieren los almidones (amilasas), y las que hidrolizan las grasas (lipasas). Las proteasas presentes en el jugo pancreático son tres: la quimotripsina que se encuentra en la glándula pancreática en forma de una proenzima inactiva llamada quimotripsinógeno, la carboxipolipeptidasa y la aminopolipeptidasa. Las propiedades amilolíticas del jugo pancreático se deben a la presencia de la amilasa amilopsina y por último la lipasa presente en el jugo pancreático es la esteapsina.

En el cerdo, muy próximo al orificio del conducto pancreático se encuentra el orificio del conducto biliar. Esto con el fin de facilitar la mezcla de estos dos importantes jugos digestivos. A través del conducto biliar se agrega la bilis o hiel que constituye el segundo elemento que interviene en la digestión intestinal y consiste en un líquido amargo que el hígado (reactor) segrega y acumula en la vesícula biliar, de donde pasa, de una manera intermitente, al duodeno a través de los conductos biliares. La vesícula biliar se puede considerar como un tanque de almacenamiento y a su vez válvula automática de diafragma cuya descarga se activa al recibir la señal transmitida a través de la secreción de la hormona colecistoquinina (secretada en el duodeno).

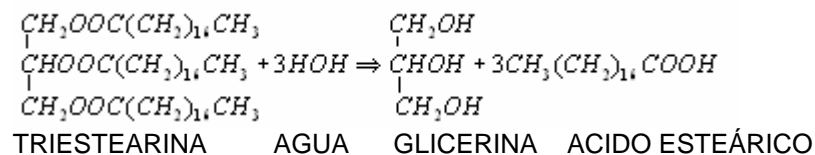
La bilis, se caracteriza por contener pigmentos, sales biliares y un alcohol, la colesteroína. No contiene enzimas digestivas, pero desempeña un papel de primer orden en la digestión de las grasas. A causa de su alcalinidad y de la presencia de sales biliares (ésteres del ácido cólico con taurina y glicina), la bilis contribuye a la emulsión de las grasas. Muchos autores consideran la bilis como un laxante natural, ya que acelera la peristalsis y la absorción. Los ácidos taurocólico y glicocólico son ésteres complejos que por hidrólisis realizada en el reactor hígado dan los siguientes productos:



La bilis contiene cuatro pigmentos: bilirrubina, biliverdina, estercobilina y urobilina. En el reactor hígado, cuando los glóbulos rojos mueren queda en libertad la hemoglobina y esta se desdobla en dos fracciones. La fracción heme, a su vez, se desdobla para formar protoporfirina, y libera hierro para la formación de nueva hemoglobina. La protoporfirina se convierte en bilirrubina, el pigmento amarillo de la bilis. La biliverdina, pigmento biliar verde, se forma por oxidación de la bilirrubina. Por reducción de la bilirrubina, se forma un pigmento pardo llamado estercobilina, que confiere a las heces su color pardo característico. La urobilina se forma también a expensas de la bilirrubina. Mediante nueva reducción, la urobilina se transforma en urobilinógeno. El color amarillo de la orina se debe a la presencia de urobilina y urobilinógeno.

Así, dentro del reactor tubular intestino delgado se mezclan el quimo ácido, la bilis con los jugos duodenal y pancreático desencadenando la siguiente serie de reacciones simultáneas.

- ✳ Proteínas: son hidrolizadas por la tripsina y quimotripsina, en proteosas, peptonas y polipéptidos. La enteroquinasa del jugo duodenal transforma la proenzima tripsinógeno (que es secretada por el páncreas) en tripsina activa. Se ha demostrado que una vez formada una pequeña cantidad de tripsina, el proceso se convierte en autocatalítico. La quimotripsina (proenzima) carece de propiedades proteolíticas hasta que es activada por su contacto con la tripsina. La tripsina y la quimotripsina no hidrolizan las proteínas más allá de la fase de proteosas o polipéptidos. La carboxipolipeptidasa ataca los polipéptidos y libera los aminoácidos que contienen grupos carboxílicos libres, y las aminopolipeptidasas atacan los polipéptidos que contienen grupos amino libres. Vemos, pues, que la finalidad eventual de los cambios proteolíticos consiste en formar aminoácidos solubles que puedan ser absorbidos y asimilados.
- ✳ Grasas: la esteapsina, lipasa pancreática, desdobla los glicéridos en glicerina y ácidos grasos libre en presencia de la bilis, según la ecuación siguiente:



- ✳ Hidratos de Carbono: los almidones y las dextrinas que pueden no haber sido hidrolizadas en el estómago, son atacadas por la amilopsina (amilasa pancreática) y convertidas en su mayor parte en maltosa. la maltosa, sacarosa y lactosa son hidrolizadas en azúcares simples por la maltasa, sacarasa y lactasa respectivamente.

Las múltiples salidas laterales del intestino delgado están representadas por el tejido intestinal que permite el paso de los productos de la digestión intestinal, mediante procesos análogos a la ósmosis y filtración molecular. El tejido intestinal está tapizado por vellosidades intestinales, que son prominencias digitiformes que aumentan de manera considerable la superficie de absorción. Todo este tejido está irrigado por dos sistemas circulatorios: una red sanguínea formada por arterias y venas, y un capilar linfático aislado que se comunica con el sistema linfático; esto sería análogo a una red de tuberías que transportan los nutrientes fluidizándolos en la sangre y la linfa, hacia los reactores y equipos del complejo metabolismo. El sistema de venas meséntricas

transporta las sustancias nutritivas absorbidas a la vena porta, y de ella al hígado y a los tejidos orgánicos. Los capilares linfáticos absorben la mayor parte de las grasas, las cuales son transportadas a los tejidos. Las formas en que se absorben las sustancias nutritivas y sus destinos finales son:

- ✱ Proteínas: se absorben en forma de aminoácidos y se emplean en la construcción de tejido o son desaminadas en el hígado, con eliminación de nitrógeno en forma de urea.
- ✱ Grasas: la glicerina, producto de la hidrólisis de las grasas es fácilmente absorbida. Los ácidos grasos, en cambio, al no ser solubles en agua son difundidos a través de la membrana intestinal formando un complejo con las sales biliares. Este complejo se degrada una vez es absorbido, y las lipasas hísticas resintetizan los glicéridos a partir de la glicerina absorbida y de los ácidos grasos libres procedentes de la desintegración del complejo sales biliares – ácidos grasos. Finalmente las sales biliares regresan al hígado donde se convierten nuevamente en componentes de la bilis. Se cree, que algunas grasas no hidrolizadas se absorben en forma altamente emulsionada, con glóbulos de grasa tan pequeños que atraviesan la mucosa intestinal. Como se dijo anteriormente gran parte de las grasas es acarreada directamente a los tejidos por el sistema linfático, esta linfa rica en grasa es transportada por el conducto torácico que la vierte en el sistema circulatorio en la unión de la vena yugular con la subclavia.
- ✱ Hidratos de Carbono: son absorbidos en forma de glucosa, fructosa, galactosa y en proporción mínima en forma de disacáridos. La lactosa tampoco es absorbida en su mayoría, debido a su baja solubilidad, y pasa en su mayoría a los segmentos inferiores del intestino donde actúa como estimulante de la proliferación de los organismos formadores de ácido láctico. Los hidratos de carbono que son absorbidos se transportan al hígado donde se almacenan en forma de glucógeno. Cuando el glucógeno tisular experimenta la hidrólisis para formar azúcar y satisfacer determinadas necesidades metabólicas, la única clase de azúcar que se transforma es glucosa.

B.4. ELIMINACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS

La masa restante luego de la absorción en el intestino delgado pasa al intestino grueso, el cual actúa, al igual que el intestino delgado, como una combinación de reactor tubular, mezclador y transportador mecánico con múltiples descargas laterales de agua, cada una de ellas dotada de los correspondientes mecanismos de impulso y filtración de los componentes de salida. Tiene una longitud total de 5 m y se divide en el ciego, el colon y el recto. El contenido total es de 10 litros.

Cuando la masa restante del intestino delgado alcanza el intestino grueso, las células de las paredes laterales, que funcionan como millones de pequeños reactores, comienzan a secretar una mucosa alcalina. Dentro del intestino grueso, los cambios que ocurren son debidos en gran parte a los elementos bacterianos, y se cree que también actúan algunas enzimas procedentes del intestino delgado. Los cambios ocurridos son:

- ✱ Putrefacción: origina proteosas, peptonas, aminoácidos y otros productos de descomposición como indol, escatol y amoniaco. Por descarboxilación se forman las aminas.

Tabla B1. Transformación de los aminoácidos en aminas durante el proceso de putrefacción.

AMINOÁCIDO	AMINAS
Arginina	Putresceína (tetrametilendiamina)
Lisina	Cadaverina (pentametilendiamina)
Fenilalanina	Feniletilamina
Tirosina	Tiramina
Triptófano	Indoletilamina
Histidina	Histamina

- ✱ Algunos hidratos de carbono como la celulosa son atacados por los agentes de fermentación y producen ácido láctico, butírico y acético, alcoholes y gases, como el metano, anhídrido carbónico e hidrógeno.
- ✱ Algunas sustancias producidas en el intestino grueso son tóxicas, pero el organismo posee mecanismos para transformar estos productos en sustancias inocuas mediante hidrólisis, reducciones, oxidaciones y neutralización.

ANEXO C

BIODIGESTOR DE DOBLE PROPÓSITO - PRODUCCIÓN E INVESTIGACIÓN – PARA RESIDUOS DE GRANJA PORCÍCOLA

Acevedo Pabón, Paola Andrea y Acevedo Duarte, Leonardo

Resumen

Se presenta, con algún detalle, el diseño y operación de un biodigestor para procesar residuos de una porcícola dentro de la cual produce biogás para la cocción de alimentos de humanos y animales de una granja integral, abono líquido para pastos y cultivos de la granja y subproductos sólidos de los cuales una parte se destina a alimentar peces y otra se utiliza como fertilizante sólido de pastos y cultivos; en este frente, además de biodigestor el sistema propuesto es parte de un sistema de manejo integral de residuos que convierte corrientes contaminantes en flujos de bienes y servicios con valor económico y ambiental. Otro propósito del biodigestor diseñado e instalado es el permitir investigaciones de diverso tipo, como por ejemplo orientadas a optimizar la operación del sistema o a optimizar el diseño de modelos mejorados. Se describe el sistema diseñado, construido y en operación productiva, destacando los componentes y facilidades que tienen propósitos solo de investigación, se propone la instrumentación complementaria para investigar y se plantean y describen algunas de las investigaciones posibles.

C.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El problema general afrontado en este documento, es el manejo y procesamiento de aguas residuales con alta carga orgánica, pero acotado al reducir la amplia gama de composiciones de aguas residuales a las propias de mezclar orinas y excretas de cerdos con aguas de lavado y al tomar como base los flujos propios de una instalación porcícola específica.

El contexto es, entonces el de una instalación con la escala propia de fines productivos y comerciales, dentro de la cual se conocen y son relativamente difundidos sistemas de manejo que resuelven uno o los dos siguientes problemas específicos: a) cómo evitar impactos ambientales negativos y, b) cómo obtener flujos de bienes y servicios con valor económico y ambiental, a partir de las corrientes de residuos.

Con el mismo problema general, otro problema específico es la generación de conocimiento y desarrollo de tecnologías para resolver el primer problema. Este tipo de desafíos normalmente pasa por etapas de investigación científica y tecnológica a escala de laboratorio, plantas piloto, escalamiento y prueba de prototipos con diferentes tamaños hasta llegar a aplicaciones a escala de granjas reales.

La hipótesis de partida de lo que se propone en este documento es que se puede diseñar, construir y operar un sistema que afronte a la vez los dos problemas específicos productivos y que, simultáneamente y operando el sistema con escala de producción, permita la generación de datos, información y conocimientos para mejorar el sistema mismo.

De hecho, el sistema con tal múltiple propósito ya se diseñó, construyó y está en funcionamiento cumpliendo con los propósitos productivos y en este documento se divulgan y someten a examen algunos resultados. Por otra parte se plantea y se somete a evaluación un proyecto de investigación con base en el sistema disponible.

C.2. ANÁLISIS DE ANTECEDENTES^[3,7,10,13,21,22,28,31,32]

Es muy amplia la información documental⁶⁶, institucional⁶⁷, de expertos individuales⁶⁸ y de paquetes o sistemas en funcionamiento⁶⁹ y la tecnología pertinente se puede calificar como madura para enfrentar los dos pero con preferencia uno de los problemas específicos productivos mediante: a) la obtención de biogás en biodigestores anaeróbicos, con relativamente rigurosos controles de relación agua/excretas, tiempos (discretos) de alimentación y tiempos de residencia; en estos casos la atención se centra en los flujos de biogás y en la estabilidad del sensible sistema biológico y típicamente solo se puede procesar una parte de los residuos⁷⁰; b) la sedimentación y disposición posterior de los sólidos sedimentados y de los líquidos con diferentes propósitos, con enfoque de manejar y valorizar la totalidad de los residuos y evitar la contaminación de los mismos, capturándolos y tratándolos en el momento, flujo y concentraciones con que se producen en la operación de la granja porcícola; con estos sistemas se manejan típicamente bajos tiempos de residencia, no se tiene como propósito central maximizar o aprovechar el gas y se trata de procesos fundamentalmente aeróbicos⁷¹. En cuanto a los biodigestores se tiene una amplia

⁶⁶ Como ejemplo se tiene:

⁶⁷ También como ejemplo en el contexto colombiano se puede citar a varias universidades (con grupos de investigación consolidados en el campo (Universidad Nacional, UIS, UNIVALLE, entre otras), al Instituto colombiano del Petróleo (ICP), algunas Corporaciones Autónomas Regionales Ambientales (CVC, CDMB, entre otras), CIPAV y como ejemplo específico el Nodo de Producción Más Limpia de Santander que ha afrontado el problema de las aguas residuales de porcícolas.

⁶⁸ A título de ejemplo se podría destacar a algunos investigadores individuales de los entes referidos en la nota 3, pero sería muy amplia una lista con alguna pretensión de ser exhaustiva. Por otra parte en diferentes zonas del país hay algunas firmas de personas naturales que ofrecen asesoría y paquetes tecnológicos en el frente que nos ocupa.

⁶⁹ De granjas porcícolas comerciales y hasta de organizaciones que combinan fines de producción porcícola con ecoturismo y educación como PANACA (Parque Nacional Agropecuario).

⁷⁰ No tanto por el tamaño e inversión necesarios para procesar todo, cuanto por la necesidad de controlar variables cuyos intervalos se desbordan por necesidades de operación.

⁷¹ Se dejan por fuera del análisis soluciones como, por ejemplo, las lagunas de oxidación (aeróbicas, anaeróbicas y facultativas), tanques sépticos (anaeróbico), lodos activados (aeróbico), filtros percoladores (aeróbico), por cuanto para el manejo

variedad de modelos⁷², algunos hoy poco utilizados (o bien no se construyen nuevos porque los nuevos modelos han demostrado claras ventajas). Los sedimentadores o “estercoleros” también tienen modelos constructivos diferentes con características impuestas por condiciones específicas del uso posterior de los sólidos y de los líquidos (topografía, cultivos en que se utilizarán los fertilizantes, especies que se alimentarán con los sólidos, pretensión o no de utilización del biogás y requerimientos del mismo).

En la Tabla C.1 se presenta una comparación de los dos sistemas (segunda y tercera columnas) con diferentes criterios de comparación (primera columna). Se añade una cuarta columna que contiene, cual debería ser el resultado o prestación de un sistema nuevo de doble propósito productivo: propósitos ambientales y propósitos económicos; esta columna contiene las bases o condiciones que orientaron el diseño del sistema de doble propósito, y entre ellas que se busca generar y aprovechar el gas y en ese sentido será un biodigestor anaeróbico pero a la vez se llevarán al sistema de residuos las corrientes cuando, con los flujos y con las condiciones impuestas por la operación de la granja. Así mismo, se añade como quinta y última lo logrado con el sistema ya construido y en operación y constituye un adelanto del informe de resultados con dicho sistema.

Sistemas de doble propósito son poco frecuentes y más bien se encuentran casos en que se construyen y operan simultáneamente los dos sistemas independientemente, con las consecuencias de aumentos de inversiones y costos con aumento también de mayor flujo de gas que puede ser el producto de mayor impacto en los ingresos o ahorros financieros. Como se plantea posteriormente, uno de los estudios que se puede hacer es el comparativo de relaciones de costo/beneficio, para las circunstancias que rodean la granja específica en que se está ensayando el sistema de doble propósito.

El párrafo anterior sirve de enlace para analizar los antecedentes de sistemas con propósitos a la vez productivos e investigativos. No se tiene conocimiento para el contexto específico que se maneja, de casos en que, como en el presente, se proponga construir y operar un sistema con propósitos simultáneos de producción y de investigación. Tradicionalmente las escalas, capacitación de personal, metodologías y enfoques, necesidades de instrumentación y control, velocidades de respuesta de los sistemas, flexibilidad para cambiar variables (operacionales o experimentales, según el caso), entre otros aspectos, de uno y otro propósito, son tan diferentes que hacen que no haya estímulo para intentar superar las distancias. Tal vez el principal obstáculo es de tipo cultural en cuanto las poblaciones o grupos de interesados o dolientes (productores - operadores vs. académicos – investigadores) no convergen en el mismo escenario espacial y de desempeño. Relacionado con el anterior, otro obstáculo fuerte es el relativamente poco frecuente interés de investigaciones multi, trans o interdisciplinarias, lo que hace difícil hacer converger intereses en

específico de aguas de porcícolas no se utilizan por escala, costo, capacidad necesaria de mano de obra, entre otras razones.

⁷² UASB, a pistón y dentro de cada categoría diversos modelos constructivos y operativos.

conocimientos de microbiología, biotecnología, ecología y bioquímica, por el lado de las disciplinas científicas⁷³, con intereses en conocimientos en agronomía, medicina veterinaria y zootecnia, por el lado de las disciplinas tecnológicas y con intereses en conocimientos de nutrición animal, agricultura, piscicultura, porcicultura, avicultura, silvicultura y agroforestería, entre otros sectores o actividades productivas de aplicación inmediata de lo científico y de lo tecnológico.

Tabla C1. Comparación de Biodigestores y Sedimentadores con Sistemas de Doble Propósito Productivo

Factor o Variable	Biodigestor	Sedimentador “Estercolero”	Deseable para Doble Propósito	Logrado con Modelo de Doble Propósito
Tiempo de Residencia	Largo, controlado	Corto	Variable y Controlable	Variable y Controlable
Tiempo de arranque y estabilización	Alto	Bajo	Bajo	Alto
Relación Agua/Sólidos	De media a baja, controlada	Alta	Variable y controlable	Variable y Controlable
Presencia de Aire	Anaeróbico	Aeróbico, anaeróbico	Anaeróbico, aeróbico	Anaeróbico y Aeróbico ⁷⁴
Frecuencia de Alimentación	Baja, controlada, rígida	Alta o baja, no controlada, flexible	Alta o baja, controlable	Alta o baja, controlable
Productos Utilizados	Biogás y fertilizante	Fertilizantes líquido y sólido	Biogás, Fertilizantes, Alimentos	Biogás, fertilizantes, alimentos
Sensibilidad o Susceptibilidad	Alta, grado de resiliencia bajo	Bajas, alto grado de resiliencia	Bajas, alto grado de resiliencia	Alta, bajo grado de resiliencia
Servicios Ambientales Directos	Ahorro de energía, mejora de suelos, disminuir gases de efecto invernadero	Control de olores y de descargas líquidas, mejora de suelos	Ahorro de energía, control de olores y descargas líquidas, mejora de suelos	Ahorro de energía, control de olores y descargas líquidas, mejora de suelos
% de Residuos procesado	Típicamente bajo	100	100	100

⁷³ De entrada está la dificultad de la ecología para abrirse espacio entre las disciplinas o campos del conocimiento.

⁷⁴ En los canales, en la pileta de descarga de los canales antes del tubo, si se desea se pueden dejar las tapas abiertas, el tanque complementario es abierto y en las caídas de las salidas de los estanques anaerobios hay aireación.

Factor o Variable	Biodigestor	Sedimentador “Estercolero”	Deseable para Doble Propósito	Logrado con Modelo de Doble Propósito
Destino típico de gases y vapores producidos	Cocina, calefacción, quema en teas	Descarga directa a la atmósfera	Cocina, Calefacción, quema en teas	Cocina, Calefacción, quema en teas
Tratamiento de gases y/o vapores	Purificación, remoción de H ₂ S	No se tratan	Posible la Purificación y remoción de H ₂ S	Posible la Purificación y remoción de H ₂ S
Manejo Típico de Líquidos	Descarga por gravedad en inmediaciones del sistema	Diferentes sistemas de riego (bombeo o gravedad, aspersión, por goteo, por inundación)	Diferentes sistemas de riego (bombeo o gravedad, aspersión, por goteo, por inundación)	Diferentes sistemas de riego (bombeo o gravedad, aspersión, por goteo, por inundación)
Costo relativo para tratar todos los residuos	Alto	Bajo	Bajo	Medio
Riesgo biológico De efluentes ⁷⁵	Bajo	Puede ser alto	Bajo	Variable en función de variables operativas
Riesgos relacionados con seguridad industrial ⁷⁶	Relativamente altos	Relativamente bajos	Relativamente bajos	Relativamente Altos
Nivel de capacitación de operadores	Relativamente Alto	Relativamente Bajo	Relativamente Bajo	Relativamente Bajo

Fuente: Autores

En las circunstancias particulares de la granja donde se construyó el sistema objeto de este documento, se tienen enfoques y condiciones que facilitan el superar las distancias y dificultades porque el escenario de toma de decisiones, de intereses y de horizonte de planeación es el de una granja integral con componentes zoo (peces, cerdos, vacunos, aves, ovinos), fito (pastos naturales y mejorados, de corte y de pastoreo, palma africana, frutales, maderables, cacao, caucho, huerta, entre otros), combinados (silvopastoriles, agroforestería) e industriales o de post cosecha (derivados lácteos, beneficio de peces y aves, entre otros), donde además se experimenta, se busca innovar y se aprende haciendo.

⁷⁵ Relacionados con microorganismos en los líquidos y sólidos finales

⁷⁶ Sobre todo por el manejo del gas: explosiones, incendios posibles.

El sistema de manejo de las aguas residuales, si bien tiene como propósito fundamental el manejo de los desechos porcícolas, también podría hacerlo con las aguas residuales del componente vacunos de la granja integral y se interrelaciona muy fuertemente con el sistema de manejo del agua (incluida el agua lluvia) y del suelo.

En la Tabla C.2 se hace un análisis comparativo entre los sistemas construidos para investigación y experimentación (columna 2 de la tabla), los sistemas construidos para producción (columna 3 de la tabla) y sistemas ideales o deseables de propósito investigativo – productivo (columna 4 de la tabla), con diferentes criterios o factores de comparación (primera columna de la tabla); se añade una quinta columna donde se consigna lo que se espera como resultado real del sistema diseñado y solo parcialmente construido⁷⁷. La columna cuarta contiene el ideal buscado al que se orientó el diseño del sistema y la columna quinta lo que (a priori⁷⁸) se considera que se va a lograr con el sistema efectivamente construido.

C.3. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA Y SU OPERACIÓN EN EL ESTADO ACTUAL

Se pueden considerar varios niveles de agregación del sistema productivo con el Biodigestor – Estercolero como uno de sus componentes. El más amplio (Ver Figura en capítulo 2) involucra, aguas arriba, la planta de producción de alimentos para cerdos, el sistema de suministro de agua y el suministro de otros insumos a la cocheras y las cocheras; aguas abajo, los estanques de piscicultura, el sistema de riego del efluente líquido como fertilizante, la distribución de sólidos tratados también como fertilizantes, el sistema de manejo de residuos sólidos de la granja integral, los cultivos a los que se aplican los fertilizantes líquido y sólido y el sistema de tratamiento, conducción y uso del gas en la casa y en la planta de preparación de alimentos (por este lado se cierra el ciclo). El más limitado (Ver Figura B) involucra solo el biodigestor con los sistemas de alimentación desde las cocheras (que son dos) y los sistemas de descarga de gas, fertilizante líquido y sólidos tratados. En este documento se adopta el enfoque de sistema reducido para efectos de la descripción de la operación.

⁷⁷ Se incluyeron facilidades para instalar instrumentos, controles, facilidades de operación, tomas de muestras, instalaciones complementarias, pero no se han instalado dichos componentes adicionales que solo tienen propósitos de investigación. Se tiene la expectativa de obtener los recursos financiero y patrocinio general para hacerlo.

⁷⁸ Antes de hacer las investigaciones o experimentaciones y que se debe confirmar al hacerlas.

Tabla C2. Comparación de Sistemas solo Productivos o solo de Investigación Con Sistemas de Producción e Investigación

Factor o Variable	Sistemas para Investigación	Sistemas para Producción	Esperado o Factible con Sistema Construido
Escala	Pequeña, de banco, máximo escala piloto	Escala del sistema productivo	Escala del sistema productivo
Balances de masa y Energía	Precisos, globales y parciales	Inexistentes o solo globales y aproximados	Posibilidad de instrumentación para soportar balances
Dotación de Instrumentos de medición y control	Alta, típicamente costosa, de uso temporal	Inexistente o escasa	Media, de costo relativamente bajo, uso posible duradero
Flexibilidad operacional	Alta	Baja	Alta
Velocidad Relativa de respuesta	Alta	Baja a media	Variable según la operación
Perfil de personal	Académico, calificación de media a alta, especializado disciplinaria y operativamente, meticuroso	Experto operador, calificación de media a baja, amplio espectro de conocimiento y tareas, flexible y recursivo	Experto operador, calificación de media a baja, amplio espectro de conocimiento y tareas, flexible, recursivo y meticuroso
Multiplicidad de propósitos	Limitada a obtener conocimientos en frentes muy específicos	Limitada a optimizar producción con limitaciones de diseño y operación	Orientada a producción y a obtener conocimientos, multiplicidad de asuntos por investigar, flexibilidad de operación
Costos operativos relativos	Altos	Bajos	Bajos
Vida	De fugaz a baja	Alta	Alta
Integración de la etapa investigada con otras	De nula a baja	Alta	Alta
Número y tipos de investigaciones que se pueden adelantar	De Uno a pocos, normalmente de un solo tipo	Pocos, normalmente de un solo tipo	Varios y de diversidad de orientaciones

Factor o Variable	Sistemas para Investigación	Sistemas para Producción	Esperado o Factible con Sistema Construido
Tiempos relativos de aplicación de resultados	De medios a altos	Inmediatos	Inmediatos
Actores y etapas para transferencia	Típicamente numerosos	Pueden ser pocas	Pocas
Posibilidad de uso para formación	Alta	Baja	Alta

Fuente: Autores

La alimentación al biodigestor – estercolero empieza en las cocheras mismas donde: a) se produce en forma permanente orina y excretas de los cerdos que eventualmente solo en parte se retienen con el aserrín (o el material de cama que se utilice) de manera que eventualmente se tiene una corriente permanente de lixiviado cuyo flujo y características dependen de variables operacionales de la cochera (como la frecuencia de cambio del aserrín y cantidad colocada) y climáticas (temperatura y humedad ambientales), entre otras; b) al lavar las cocheras y los cerdos, típicamente después de un retiro de sólidos húmedos, se producen flujos periódicos o discontinuos de las aguas de lavado, cuyo flujo y características dependen de variables operacionales de la cochera (grado de “limpieza” del piso después de retirar los sólidos y antes del lavado, frecuencia de lavado, flujo, presión y modo de aplicar el agua de lavado).

Las corrientes a) y b) de cada una de las dos cocheras, descritas en el párrafo anterior pueden alimentarse al biodigestor por separado en el momento en que se producen o bien, la corriente a) se puede acumular en cada tubo que conecta cada cochera con el biodigestor hasta cuando se llene y descargarla en ese momento; lo más fácil es la descarga en la medida en que se va produciendo. Se pueden escoger los momentos y frecuencia de lavado de cada una de las dos cocheras de modo que la llegada de la corriente b) de cada cochera ocurra de acuerdo con un plan previsto.

En la entrada de cada tubo se cuenta con piletas donde se puede: i) añadir nutrientes o sustancias que cumplan alguna función posterior en el biodigestor, ii) desviar la corriente total para que no alimente el biodigestor sino que vaya al sistema de bombeo localizado después del biodigestor o directamente a cultivos como fertilizante o a los estanques de peces; iii) cuenta cada pileta con mecanismos de filtración y sedimentación que podrían utilizarse para desviar fuera del tubo todo o parte del líquido de cualquiera de las corrientes, regular la relación líquido/sólido y llevar el líquido al sistema de bombeo localizado después del biodigestor o directamente a cultivos como fertilizante.

En los dos tanques del biodigestor (en conjunto) se puede manipular el nivel de líquido y/o de mezcla sólido – líquido, y por tanto el volumen que se deja como cámara de gas, mediante a) la salida en el fondo del tanque No 1; b) Cada una de las tres salidas (fondo, altura media y cerca del tope) del tanque número 2 y conectadas con el tubo vertical transparente para seguimiento visual del nivel.

En los dos tanques del biodigestor (en conjunto) se puede regular la relación líquido/sólido al escoger la salida de mezcla o solo de líquido por cualquiera de las salidas mencionadas en párrafo anterior, por cuanto se cuenta con vía de salida a través de filtro y vía de salida sin filtro. Si se considerase conveniente en algún momento aumentar la proporción de agua, se cuentan con entradas del mencionado líquido en las tapas herméticamente selladas de cada tanque.

Para la salida de la mezcla total (para descarga o muestreo) se puede seleccionar la altura de salida, escogiendo la vía de salida entre las tres disponibles para el tanque No 2.

En la salida del gas se tiene una válvula de cheque cuya presión de desfogue es fija pero se podría cambiar esa válvula y por tanto seleccionar otra presión en la cámara de gas.

Se puede escoger en qué momento se destapan los tanques para operaciones de lavado, limpieza y/o descarga total, mantenimiento, instalaciones internas.

C.4. COMPLEMENTACIÓN CONVENIENTE PARA INVESTIGACIÓN

Se procede a describir, en primer lugar las adecuaciones e instrumentaciones que se debería hacer en el biodigestor y, en segundo lugar las dotaciones complementarias. El lector puede contrastar la lista de dotaciones descrita (que se considera como la mínima necesaria) con las investigaciones propuestas y evaluar la correspondencia entre los dos apartes de esta propuesta.

C.4.1. ADECUACIÓN E INSTRUMENTACIÓN DE BIODIGESTOR

El propósito fundamental es la posibilidad de disponer de datos y de controlar variables de proceso y/u operación y por tanto se requieren medidores, facilidades para toma de muestras para su posterior análisis y reguladores de algunas variables.

En la Tabla C.3 se puede ver el listado de instrumentos (sensores, registradores, controladores) su localización y comentarios relacionados con su función, instalación y manejo.

C.4.2. DOTACIONES COMPLEMENTARIAS

Se centra la atención en lo necesario para tomar y transportar muestras, realizar pruebas in situ y dotaciones diferentes a las de laboratorios especializados donde se procesarán las muestras. Ver Tabla C.4.

C.5. PLANTEAMIENTO DE INVESTIGACIONES POSIBLES

Para dar categorías a las investigaciones propuestas se puede utilizar, en primer lugar, una clasificación según la escala del sistema analizado (o bien, dependiendo de cuales sean las fronteras del sistema en análisis). Con este criterio se consideran tres escalas, de mayor a menor: el de la granja integral, el de la cochera que incluye el biodigestor – estercolero y solo el biodigestor.

En segundo lugar, una categorización de acuerdo al propósito científico, tecnológico o de desarrollo tecnológico con propósitos productivos.

En tercer lugar, más que investigaciones, estudios comparativos de modelos de propósito simple Vs doble propósito como sistema productivo y de modelos de propósito único (solo productivo o solo de investigación Vs modelos de doble propósito (productivo e investigativo).

Se debe hacer énfasis en que y no se tiene pretensión de haber sido exhaustivos en el planteamiento de alternativas de investigación.

C.5.1. INVESTIGACIONES PARA DIFERENTES ESCALAS DEL SISTEMA

Ya se mencionaron las tres escalas y la presentación de investigaciones posibles se hace a través de las tablas C5, C6 y C7. Naturalmente que cada investigación debe ser sometida a un diseño particular minucioso. Como variables de entrada (independientes desde el punto de vista matemático, causales de las de salida o que se escogen y algunas se controlan) y de salida (de respuesta, de resultado, dependientes desde el punto de vista matemático, efectos de las de entrada) se toman factores cualitativos y cuantitativos. No se tiene pretensión de ser exhaustivos en la mención de variables de entrada y/o salida.

C.5.2. INVESTIGACIONES SEGÙN EL PROPÓSITO EPISTEMOLÓGICO

Ya se mencionaron los tres propósitos generales. Son válidos aquí también los comentarios hechos en el aparte C.5.1. En las Tablas C.5., C.6. y C7 se mencionan investigaciones de todos los enfoques epistemológicos (investigación⁷⁹ científica, Investigación Tecnológica⁸⁰ y Desarrollo Tecnológico⁸¹).

⁷⁹ Sobre todo los de escala del biodigestor

⁸⁰ Sobre todo los de escala de la cochera aunque también los de escala de granja y de escala de biodigestor

⁸¹ Sobre todo los de escala de granja aunque también los de escala de cochera.

Tabla C3. Instrumentos y Facilidades en el Biodigestor con Propósitos de Investigación

Instrumento	Localización	Comentarios
Tablero de control	Contiguo a biodigestor	Adecuadamente protegido de la lluvia, del calentamiento solar y de acceso de personal no autorizado
Termocupla 1	Entrada de Tanque 1	Mide temperatura de entrada de la carga
Termocupla 1	Tapa de Tanque 1	Mide temperatura de reacción en tanaue1, debe poderse regular la profundidad para determinar gradientes de temperatura con la altura; permite medir temperatura de cámara de gas.
Termocupla 2	Tapa de Tanque 2	Mide temperatura de reacción en tanaue1, debe poderse regular la profundidad para determinar gradientes de temperatura con la altura y por tanto se puede utilizar para medir la temperatura del gas.
Registradores de temperatura	Tablero de control	Conectados a termocuplas de las cuales reciben señales y ls transforman en indicadores de la temperatura correspondiente
Instalaciones para toma de muestras	En las tapas de los tanques 1 y 2	Dispositivos que permitan introducir los tomadores de muestras para gases y para mezclas de sólido y líquido en cada uno de los tanques de bioreacción. La característica principal es que impidan el escape significativo del gas de la correspondiente cámara
Instalaciones para toma de muestras	En cada tramo del tubo del gas o etapa de tratamiento	Dispositivos que permitan llenar los tomadores de muestras para gases
Escalas de Nivel	Tanques 1, 2 y 3	Reglillas que indiquen la altura desde el fondo de cada tanque y el volumen contenido hasta cada altura
Medidor e Indicador de Presión 1	Tapa del Tanque 1	Mide y registra la presión en la cámara de gas de la parte superior del tanque 1
Medidor e Indicador de Presión 2	Tapa del Tanque 2	Mide y registra la presión en la cámara de gas de la parte superior del tanque 2
Medidor e Indicador de Presión 3	Tubo de gas, antes de quemadores	Mide y registra la presión en la tubería de conducción del gas a los quemadores de uso en la planta de preparación de alimentos
Medidor e Indicador de Flujo de Gas	Tubo de gas, antes de quemadores	Mide y registra el flujo de gas en la tubería de conducción del gas a los quemadores de uso en la planta de preparación de alimentos
Válvulas de regulación de flujos	Salidas de los tanques 1,2 y 3 y tubos de llegada desde las cocheras	Por el momento se dispone de válvulas que permiten regular los flujos de salida y entrada descritos, que corresponden a instalaciones de plomería y cumplen funciones operativas. Eventualmente es necesario cambiar las válvulas por otras de precisión y manejos propios de una tarea de investigación

Tabla C4. Dotaciones Movibles Para Seguimiento de Biodigestor con Fines de Investigación

Dotación	Componentes	Usos y Propósito
Tomador de Muestras de Gas	1 toma muestras para gases en el extremo de un dispositivo de longitud de 0,2 m	Debe permitir tomar muestras de gas en cada una de las cámaras de gas de los Tanques 1 y 2 del biodigestor, La barra que lo soporta debe ser lo suficientemente larga para entrar por el dispositivo descrito en la tabla 3 y sobrepasar el espesor del techo de los tanques.
Otros tomadores - transportadores de muestras de gas	Un buen número de dispositivos que se llenen con muestras de gas	Deben permitir almacenar muestras de gas en los diferentes puntos de muestreo y transportarlos a un laboratorio para su análisis
Tomador de Muestras de Mezclas Líquido Sólido	1 toma muestras para mezclas líquido – sólido en el extremo de un dispositivo de longitud de 1,6 m	Debe permitir tomar muestras de mezcla en cada uno de los lechos de los Tanques 1 y 2 del biodigestor, La barra que lo soporta debe ser lo suficientemente larga para entrar por el dispositivo descrito en la tabla 3 y llegar hasta el fondo del respectivo lecho
		Mide temperatura de reacción en tanque1, debe poderse regular la profundidad para determinar gradientes de temperatura con la altura y por tanto se puede utilizar para medir la temperatura del gas producido.
Instalaciones para Toma de muestras	En las tapas de los tanques 1 y 2	Dispositivos que permitan introducir los tomadores de muestras para gases y para mezclas de sólido y líquido en cada uno de los tanques de bioreacción. La característica principal es que impidan el escape significativo del gas de la correspondiente cámara
Medidor Indicador portátil de pH	Uno o dos medidores indicadores de Ph	Debe disponer de extensión desde el indicador hasta el sensor para medir el pH a diferentes profundidades de los tanques. Se deben poder utilizar con gases y/o mezclas líquido – sólido
Kit de laboratorio de química	Vidriería, balanza, barras, mordazas, mecheros, mantas de calentamiento, termómetros y otros	Con fines de análisis cualitativo y/o cuantitativo in situ. Un complemento necesario a instrumentos es un inventario mínimo de reactivos, indicadores y similares
Registradores de temperatura	Tablero de control	Conectados a termocuplas de las cuales reciben señales y ls transforman en indicadores de la temperatura correspondiente

C.5.3. ESTUDIOS COMPARATIVOS DE MODELOS DE UNICO O DOBLE PROPÓSITO

Es pertinente examinar en este punto las tablas C.1 y C.2 que establecen criterios de comparación y de valuación y se asoman resultados posibles de los modelos de doble propósito. Los criterios planteados son casi todos de tipo técnico, uno que otro es de tipo logístico o económico. Se debe ampliar la gama de criterios hasta incluir los ambientales, financieros, estratégicos y de política científico – tecnológica. Los resultados dependen del escenario de aplicación de cada modelo y son de muy improbable validez de extrapolaciones a otros escenarios. Se deben hacer diseños minuciosos de las investigaciones .

Para comparar modelos de propósito productivo Vs. doble propósito, ver la Tabla C.1; definitivamente se asoma como muy promisorio la utilización del modelo de doble propósito en el contexto de la granja integral marco de estas propuestas. El doble propósito puede tener mayor relación beneficio/costo, en el escenario que nos ocupa lo tiene por las siguientes circunstancias: a) con el flujo de gas generado se cubren las necesidades locales de combustible y generar flujos mayores, con sistemas de solo biodigestores dentro de la escala de la granja, no permiten, con beneficio financiero, ni almacenarlo para venderlo, ni cogenerar energía, ni otro uso rentable permanente; b) el ahorro de combustible logrado tiene valor económico pues traer gas en cilindros es costoso por distancias y un alto valor ambiental porque sustituye usos de leña muy perjudiciales y culturalmente peligrosos en una zona donde la población tiene tendencias a las quemas y a la provocación de incendios durante el verano; c) se mejora notablemente la cantidad con respecto a solo biodigestores y la calidad nutricional y de sanidad con respecto a solo biodigestores, de los fertilizantes y alimentos sólidos para ser usados por cultivos y peces de la misma granja, ; d) situación análoga a lo descrito en c) con respecto a los fertilizantes líquidos, aunque en este caso se alimenta peces indirectamente a través de la fertilización del suelo sumergido de los estanques.

En cuanto a comparar modelos de propósito único (producción o investigación) Vs modelos de doble propósito, los estudios correspondientes tienen enfoques posibles de política de ciencia y tecnología que involucran tasas de sustitución de bienes y servicios en el mundo de la producción de bienes y servicios⁸² (sectores productivos tradicionales) por bienes y servicios del sector del conocimiento⁸³. Están en la línea de construir cadenas productivas que enlacen los eslabones del mundo del conocimiento, con los eslabones del mundo de la producción y el mercado.

⁸² Más de la órbita del interés privado, de grupo o individual.

⁸³ Más de la órbita del interés público, general o colectivo, en especial cuando se trata de conocimientos científicos, aunque no exclusivamente por cuanto el conocimiento tecnológico tiene mercados cada vez más claros y abiertos.

Tabla C5. Investigaciones Posibles con Diferentes Escalas (Escala de Granja Integral)

Variables de Entrada	Variables de Salida	Algunas Investigaciones
Dieta de los cerdos ⁸⁴	Evolución de cultivos	Determinación de la fertilización óptima para un cultivo.
Dieta de los bovinos ⁸⁵	Cosechas	Evaluación de Sistemas de riego en cultivos específicos.
Tecnología de uso del agua ⁸⁶	Evolución de los suelos	Evolución de la fertilidad de suelos con fertilización orgánica líquida y sólida.
Tecnologías de cultivo ⁸⁷	Impactos y efectos ambientales	Determinación de incorporación de carbono de un cultivo específico o de sus combinaciones.
Variables climáticas ⁸⁸	Resultados socio – económico – Financieros	Evaluación Técnica, Económica y ambiental de sistemas silvopastoriles o de agroforestería.

⁸⁴ Esta variable se puede tomar con diferentes grados de agregación desde identificar unos cuantos tipos de alimentación predefinidos hasta desagregar cantidades absolutas y relativas de diferentes nutrientes (proteínas, calorías, carbohidratos, vitaminas, calcio, fósforo, etc).

⁸⁵ Nota similar a la 14.

⁸⁶ También esta variable se puede tomar con diferentes grados de agregación desde pocas tipologías previamente descritas (como por ejemplo la correspondiente a producción más limpia) hasta llegar a frecuencia de lavado, presión de aplicación del agua, cantidades absolutas o relativas de agua, relación agua/sólidos, entre otras.

⁸⁷ Se puede manejar como variable cualitativa en la que cada categoría sea un paquete predefinido o desglosar en variables como tipo y genética de las semillas, densidad de siembra, cultivos asociados, grado y tipo de mecanización, variables cualitativas y cuantitativas de preparación del terreno (en las que puede figurar la aplicación de fertilizantes líquidos y sólidos del biodigestor – estercolero), características hinciales del terreno (topográficas, edafológicas, agronómicas, de cultivos previos, etc), aplicación o no y frecuencia e intensidad del mismo (puede intervenir el riego con fertilizante líquido del biodigestor – estercolero), sistema de fertilización a lo largo del cultivo (desagregado en diferentes grados y con intervención de los fertilizantes del biodigestor - estercolero), entre otras muchas variables.

⁸⁸ Lluvia, Brillo solar y otras, en general o en momentos críticos del cultivo como la siembra, la aplicación de fertilizantes, la recolección de la cosecha.

Tabla C6. Investigaciones Posibles con Diferentes Escalas (Escala de Proyecto de Porcicultura)

Variabes de Entrada	Variabes de Salida	Algunas Investigaciones
Tecnología de uso del agua ⁸⁹	Flujo y Características del gas	Eficiencia relativa de acetogénesis y metanogénesis en función de la composición de las aguas de lavado
Manejo de Sólidos en la Cochera ⁹⁰	Flujo y composición del fertilizante líquido	Evaluación comparativa de efectos e impactos ambientales de diferentes maneras de operar el sistema
Operación de las piletas de mezcla ⁹¹	Flujo y composición de los residuos sólidos de la cochera	Evaluación experimental de la conveniencia de procesar juntas las aguas de porcícola y vaquera
Operación del Biodigestor – Estercolero ⁹²	Flujo y composición del fertilizante sólido	Evaluación comparativa de sistemas solo productivos con sistemas productivos y de investigación
Operación del sistema de Tratamiento de Gases ⁹³	Beneficio/costo comparativo con diferentes operaciones del sistema	Propuestas de mejoras de diseño y operación de sistemas de propósito único o doble propósito para tratamiento de aguas de lavado de porcícolas

⁸⁹ Ya se comentó su significado en nota anterior

⁹⁰ Se puede desagregar en cuanto a la cantidad y frecuencia de cambio de aserrín, al porcentaje de sólidos retirado con pala, frecuencia de retiro de sólidos, frecuencia de lavado.

⁹¹ Incluye si se toman las dos o una cochera, si se retira o no agua por filtrado y cuánta, sistema de alternación de flujos desde las dos cocheras.

⁹² Algunas, entre muchas otras, de las variables en que se puede descomponer son: tiempo de residencia en cada tanque, presión de cámara de gas en cada tanque, nivel (o evolución del nivel) de interfase en cada tanque, frecuencia de desagüe en cada tanque, altura de desagüe en tanque 2, tipo, cantidad y frecuencia de alimentos para los microorganismos en cada tanque.

⁹³ Algunas de las variables involucradas tienen que ver con el sistema de uso del gas: frecuencia, cantidad; otras con los lechos de filtración o retiro de contaminantes (cantidades, composición, frecuencia de cambio).

Tabla C7. Investigaciones Posibles con Diferentes Escalas (Escala de Biodigestor)

Variabes de Entrada	Variabes de Salida	Algunas Investigaciones
Sólido/Agua en alimento	Población bacteriana en función del tiempo	Análisis de la Especialización de cada tanque en las reacciones
Tiempo de residencia en cada tanque	Flujo de gas en función del tiempo	Efectos sinérgicos o de competencia de las diferentes poblaciones bacterianas
Presión del gas en cada cámara	Flujo y composición del fertilizante líquido en función del tiempo	Cinética de las reacciones hidrofílicas, acetogénicas y metanogénicas
Nivel de interfase en cada tanque	Composición de mezcla de cada tanque en función del tiempo	Modelamiento de Biodigestor y validación experimental de modelos
Frecuencia de cambio de lecho de limaduras de hierro para tratar el gas	Composición y poder calorífico del gas	Optimización de la operación del biodigestor

ANEXO D

REACCIONES ANAERÓBICAS DEL BIODIGESTOR^[10,28]

Se denomina digestión anaerobia al proceso en virtud del cual la materia orgánica es convertida en metano, dióxido de carbono e hidrogeno, en ausencia de oxígeno y a causa de la acción combinada de diferentes poblaciones bacterianas. La formación de metano y dióxido de carbono corresponde a la última etapa de una serie de reacciones en las cuales los compuestos orgánicos son degradados completamente.

En una comunidad, las diferentes poblaciones pueden desarrollar interacciones positivas y negativas, las cuales surgen en una sola población o entre las diferentes poblaciones que la conforman. Estas interacciones permiten que las poblaciones alcancen un tamaño óptimo con los recursos disponibles del hábitad; en su conjunto, las interacciones mantienen el balance ecológico de la comunidad.

La degradación de la materia orgánica se logra mediante la acción de tres grupos tróficos:

Grupo 1: Bacterias hidrolíticas y fermentativas.

Grupo 2: Bacterias acetogénicas.

Grupo 3: Bacterias metanogénicas.

El proceso se inicia con la hidrólisis de polisacáridos, proteínas y lípidos por la acción de enzimas extra celulares producidas por las bacterias del grupo 1. Los productos de esta reacción son moléculas de bajo peso molecular, como los azúcares, los aminoácidos, los ácidos grasos y los alcoholes, los cuales son transportados a través de la membrana celular; posteriormente son fermentados a ácidos grasos con bajo número de carbonos como los ácidos acético, fórmico, propiónico y butírico, así como compuestos reducidos como el etanol, además de H₂ y CO₂. Los productos de fermentación son convertidos a acetato, hidrógeno y dióxido de carbono por la acción de las bacterias del grupo 2 las cuales son conocidas como bacterias acetogénicas productoras de hidrogeno.

Finalmente, las bacterias del grupo 3 ó metanogénicas convierten el acetato a metano y dióxido de carbono o reducen el dióxido de carbono a metano. Estas transformaciones involucran dos grupos metanogénicos que son los encargados de llevar a cabo las transformaciones mencionadas anteriormente. En menor proporción, compuestos como el metanol, las metilaminas y el ácido fórmico pueden también ser usadas como sustratos del grupo metanogénico. En la Figura D1 se ilustran las interacciones entre los grupos de bacterias y en la Tabla D1 se consignan las principales reacciones bioquímicas que se llevan a cabo en el proceso de digestión anaerobia con los correspondientes cambios de energía libre.

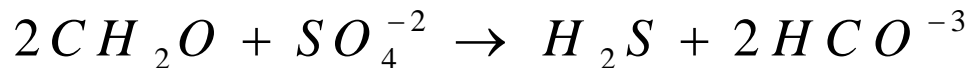
La producción de metano es la principal forma por medio de la cual las bacterias metanogénicas obtienen la energía necesaria para el crecimiento. Desde un punto de vista metabólico, la formación de metano es un tipo de respiración anaerobia en la cual, el dióxido de carbono actúa como aceptor de electrones y el hidrógeno es utilizado para reducirlo.

Tabla D1. Principales reacciones químicas que ocurren en la digestión anaerobia de la materia orgánica.

Tipo de reacción	Ecuación	$\Delta G^{\circ 94}$ (KJ / reacción)	$\Delta G^{\circ \infty 95}$ (Kj / reacción)
Fermentación de glucosa a acetato	$Glucosa + 4H_2O \rightarrow CH_3COO^- + 4H^+ + 4H_2$	-207	-319
Fermentación de la glucosa a butirato	$Glucosa + 2H_2O \rightarrow C_4H_7O_2 + 2HCO_3^- + 3H^+ + 2H_2$	-135	-284
Fermentación del butirato a acetato e H ₂	$Butirato + 2H_2O \rightarrow 2CH_3COO^- + H^+ + H_2$	+48,2	-17,6
Fermentación del propionato a acetato	$Propionato + 3H_2 \rightarrow CH_3COO^- + HCO_3^- + H^+ + H_2$	+76,2	-5,5
Acetogénesis a partir del H ₂ y CO ₂	$4H_2 + HCO_3^- + H^+ \rightarrow CH_3COO^- + 2H_2O$	-105	-7,1
Metanogénesis a partir del H ₂ y CO ₂	$4H_2 + HCO_3^- + H^+ \rightarrow CH_4 + 3H_2O$	-136	-3,2
Metanogénesis a partir del acetato	$Acetato + H_2O \rightarrow CH_4 + HCO_3^- + H^+$	-31	-24,7

Fuente. [10]

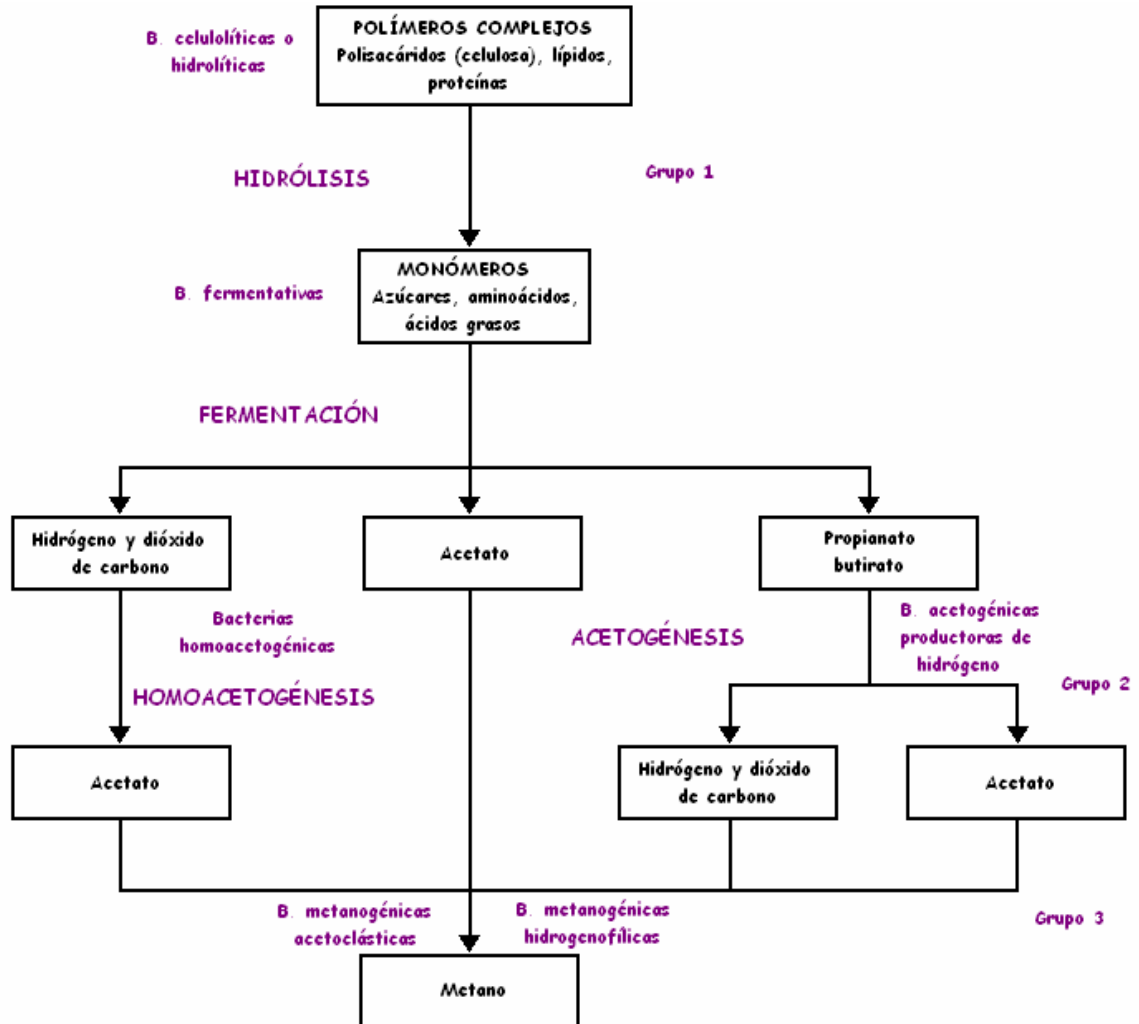
Las bacterias sulfato reductoras son anaerobios estrictos, ampliamente distribuidas en ambientes acuáticos y terrestre donde se lleva a cabo los procesos de degradación de la materia orgánica. Utilizan el sulfato como aceptor de electrones durante la oxidación anaerobia de compuestos orgánicos, aunque pueden utilizar también, compuestos como el tiosulfato, el tetrionato y el azufre elemental. Los donadores de electrones más utilizados por las bacterias sulfato reductoras son H₂, lactato, piruvato aunque existen otros tipos fisiológicos más restringidos.



⁹⁴ Condiciones estándar: solutos 1 molar, gases 1 atmósfera.

⁹⁵ Condiciones típicas en un reactor anaerobio: AGV = 1mM, HCO₃ = 20 mM, Glucosa = 10 mM, CH₄ = 0,6 mM, H₂ = 10⁻⁴ mM.

Figura D1. Principales etapas de la digestión anaerobia y grupos bacterianos involucrados.



Fuente. [10]

Una característica de los medios donde las bacterias sulfato reductoras desarrollan una alta actividad metabólica, es la presencia de olores desagradables producidos por el H₂S, así como un color negro en las aguas y los sedimentos, debido a la formación de sulfuros que precipitan al reaccionar con diferentes metales. Las bacterias sulfato reductoras cumplen un importante papel en las etapas finales de la degradación de la materia orgánica, especialmente en la remoción de los sulfatos presentes en el afluente. Estas bacterias pueden crecer en presencia o ausencia de sulfatos, utilizando dos vías metabólicas diferentes; una fermentativa y la otra oxidativa. La Figura D2 presenta las interrelaciones de las bacterias sulfato reductoras durante la utilización de la vía fermentativa en la cual, crecen sintróficamente con las bacterias metanogénicas, sin embargo, en la presencia como sustratos como lactato y etanol compiten con las poblaciones fermentativas por sustratos comunes. Las

siguientes reacciones ilustran la capacidad fermentativa de las bacterias sulfato reductoras.

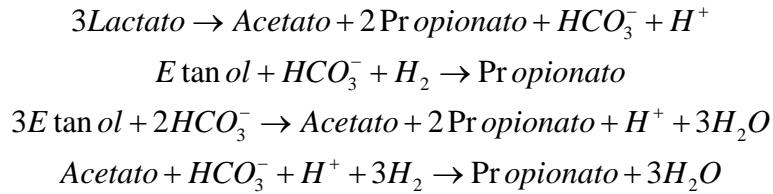
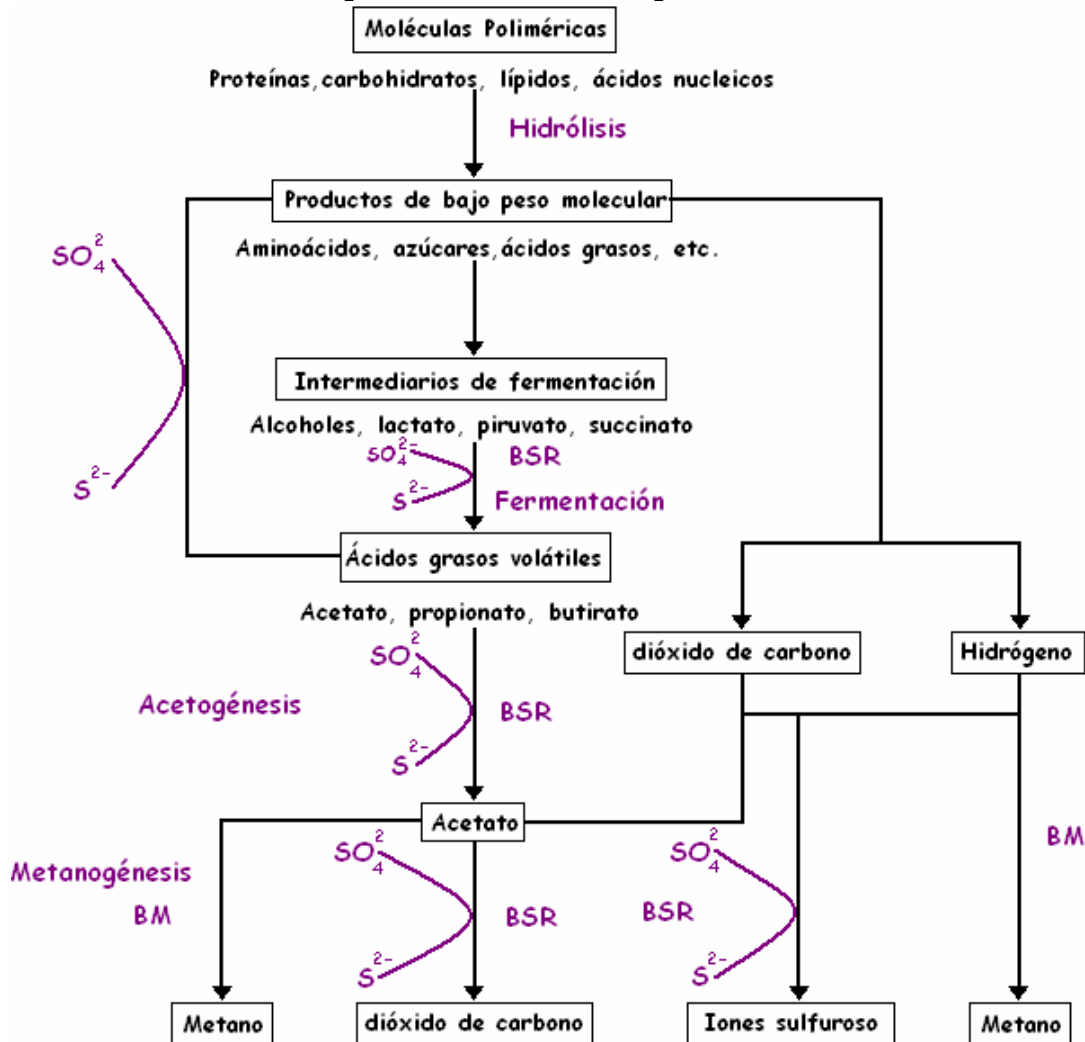


Figura D2. Interrelaciones entre las bacterias sulfato reductoras durante la degradación de la materia orgánica.

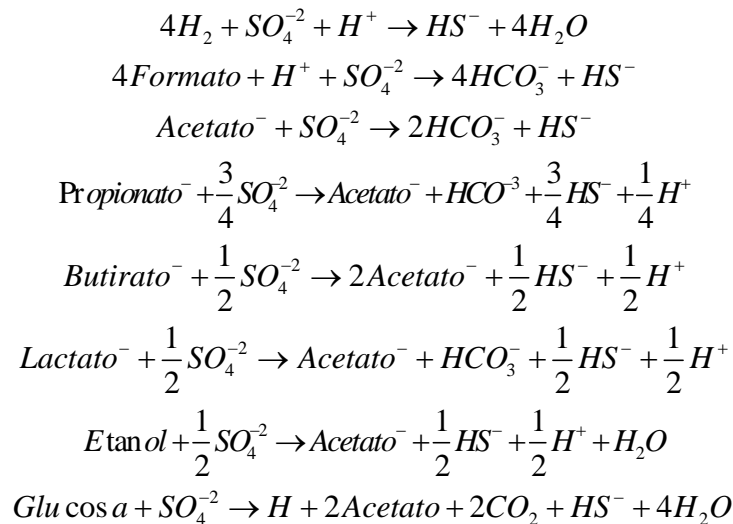


Fuente. [10]

En ausencia de sulfato, las bacterias sulfato reductoras pueden construir el 15% del total de la biomasa presente en el reactor. Bajo estas condiciones fermentan sustratos

como piruvato, lactato, etanol, fructosa, propanol y acetato entre otros, y crecen como organismos acetogénicos. Se ha reportado la degradación del formato mediante la relación sintrófica de *Desulfovibrio vulgaris* y *Methanobacterium bryantii*. Las bacterias sulfato reductoras mantienen una presión parcial de hidrógeno (1-2 Pa) por debajo de la requerida para que se de la transferencia interespecífica de electrones con la población metanogénica (3-10 Pa). Esta diferencia, podría estar mostrando que la velocidad de crecimiento de las bacterias acetogénicas dependerá del organismo consumidor de hidrógeno.

En presencia de sulfatos, las bacterias sulfato reductoras son capaces de acoplar la oxidación de compuestos orgánicos e hidrógeno a la sulfato reducción, compitiendo con las bacterias metanogénicas por sustratos comunes, generando la inhibición de bacterias acetoclásticas por la producción de H₂S. Los ácidos grasos como el propionato, y el butirato son oxidados completamente hasta CO₂ por las bacterias sulfato reductoras, o parcialmente hasta acetato. Compuestos como el etanol, otros alcoholes, lactato, malato y compuestos aromáticos pueden ser degradados completa o parcialmente. Las siguientes reacciones ilustran la capacidad de las bacterias sulfato reductoras de acoplar la oxidación de ciertos sustratos a la sulfato reducción⁹⁶.



La relación DQO / sulfato en las aguas residuales es un indicador de la cantidad de materia orgánica que puede ser degradada vía sulfato reducción. En teoría todo el material orgánico puede ser degradado vía sulfato reducción, si la relación DQO / sulfato es menor de 0,66. Si por el contrario, la relación DQO / sulfato es mayor de este valor, las bacterias sulfato reductoras compiten con las bacterias metanogénicas y acetogénicas por los sustratos disponibles, además de otras sulfato reductoras por el sustrato disponible. Se ha estimado que la concentración de H₂S al interior del reactor, no debe exceder de 150 mg / l, para que el proceso metanogénico sea eficiente.⁹⁷

⁹⁶ Oude Elferink et al. 1994; Gibson, 1990; Widdel and Hansen, 1992.

⁹⁷ Harada et al., 1994; Oude Elferink et al., 1994.

En general, los reactores anaerobios operan a valores umbrales para el consumo de hidrógeno por la población metanogénica. Sin embargo, el valor umbral de las bacterias sulfato reductoras es más bajo, por lo que en presencia de sulfato el hidrógeno es consumido principalmente por las bacterias sulfato reductoras. Esta población tiene ventajas cinéticas frente a las bacterias metanogénicas que favorecen su proliferación al interior de los reactores.⁹⁸

La población de bacterias metanogénicas acetoclásticas, predominan en reactores anaerobios cuando la concentración de sulfato es baja al interior del reactor debido a que las bacterias sulfato reductoras acetoclásticas compiten con las otras bacterias sulfato reductoras por el sulfato disponibles y con las bacterias metanogénicas acetoclásticas por el acetato. Por otra parte el acetato es el sustrato menos utilizado por las bacterias sulfato reductoras comparado con el propionato, butirato y el hidrógeno. Sin embargo, factores como tiempos de retención celular cortos favorecen el crecimiento de las bacterias sulfato reductoras acetoclásticas ya que la velocidad de crecimiento es mucho más alta.

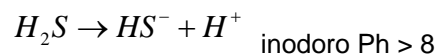
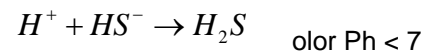
En reactores anaerobios con alta concentración de sulfato, las bacterias sulfato reductoras compiten con las bacterias acetogénicas por sustratos como propionato y butirato, por lo que la relación sintrófica entre las bacterias metanogénicas y acetogénicas para la oxidación de estos compuestos, son superados por las bacterias sulfato reductoras.

Cuando durante el tratamiento anaerobio de aguas residuales, la sulfato reducción interfiere con la metanogénesis, se generan en los reactores problemas como:

- ✱ Competencia por sustratos comunes y la consecuente disminución en la producción de metano, entre bacterias sulfato reductoras y bacterias metanogénicas.
- ✱ Inhibición de varios grupos bacterianos por la presencia de H₂S.
- ✱ Toxicidad generada por el H₂S, malos olores, corrosión en las calderas y los motores operados con biogas.

La forma tóxica del H₂S es la forma no disociada lo que facilita su paso a través de la membrana celular. Pequeñas variaciones de Ph en los digestores, pueden causar inhibición al proceso. Se ha recomendado para disminuir la toxicidad generada por el H₂S las siguientes estrategias⁹⁹:

- ✱ Diluir el afluente con aguas residuales que no contengan sulfato.
- ✱ Adicionar metales como el hierro para remover el H₂S por precipitación.
- ✱ Implementar sistemas de fases separadas de manera que la sulfato reducción se limite al reactor acidogénico.
- ✱ Incrementar el Ph para obtener una forma menos tóxica del H₂S.
- ✱ Oxidar biológicamente el H₂S hasta sulfuro elemental.



⁹⁸ Lovley et al., 1982.

⁹⁹ Tanaka y Lee, 1997; Hulshoff POI,1196.

A pesar de los problemas que ocasiona la sulfato reducción al interior de los reactores, esta reacción puede presentar algunas ventajas¹⁰⁰:

- ✱ Contribuye a mantener un bajo potencial de óxido – reducción al interior de los reactores.
- ✱ Constituye un método biotecnológico para la remoción de sulfato.
- ✱ Los complejos metal – S-2 tienen baja solubilidad, propiedad que puede ser utilizada para la precipitación de metales pesados como Co, Ni, Pb y Zn.

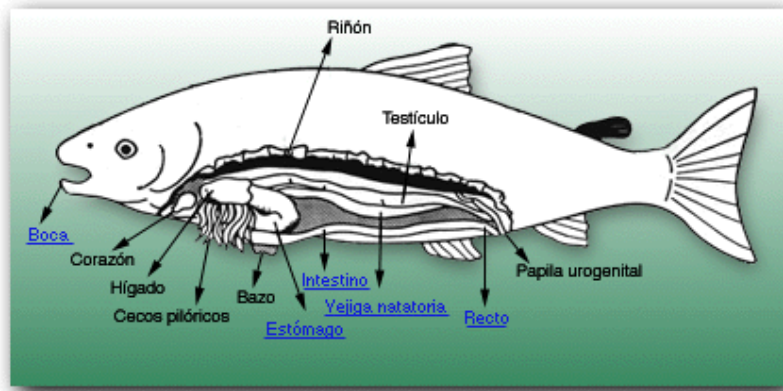
¹⁰⁰ Oude Elferink et al., 1994; Dvorak et al., 1992.

ANEXO E

DIGESTIÓN PECES^[6,9]

Las diferencias anatómicas, histológicas y fisiológicas entre las especies, junto con las dificultades que se presentan al investigar organismos que viven en el agua hacen que el proceso de digestión de peces presente aún varios vacíos de información y conocimiento y que ésta sea definitivamente inferior a la de otras especies como los cerdos y los vacunos. Por este motivo, en el presente trabajo se presenta la digestión de los peces reducida a un proceso que consta de tres etapas principales (las más conocidas): ingestión, digestión estomacal y, digestión y absorción intestinal. En la Figura E1 se muestra la anatomía general de los peces, resaltando la ubicación de la boca, estómago e intestino que son las partes donde se desarrollan los procesos por describir.

Figura E1. Anatomía general de los peces.



Fuente. www.uc.cl/sw_educ/prodanim/digestiv/m6fii2.gif

E1. INGESTIÓN DEL ALIMENTO

Tanto la tilapia como la cachama poseen hábitos alimenticios omnívoros. Ingieren los alimentos por la boca y además por medio de las branquispinas. En la boca se realizan operaciones de reducción de tamaño utilizando los dientes como una especie de molino de mandíbula mezclado con operaciones de corte. La cachama blanca, posee dientes grandes y utiliza sus grandes y anchos molares y sus fuertes mandíbulas para moler y comprimir semillas. La ingestión de plancton se da a través de las branquispinas¹⁰¹ que tienen una forma tubular cuya conexión con el exterior se cierra y abre continuamente y tienen paredes flexibles que se contraen y expanden, con tejidos porosos o de tamices que actúan como filtros. Cuando se abre la branquispina, ingresa el líquido con sólidos suspendidos y/o disueltos, empujado por las aletas de los peces (análogas industrialmente a hélices o alabes) y por el

¹⁰¹ Los hábitos alimenticios de un pez se pueden comenzar a dilucidar por el número de branquispinas, su longitud, el espacio entre estas y su grosor. Un gran número, finura y espacio reducido entre cada una de estas le permiten al pez tener una mejor capacidad de filtración del agua que fluye a través de las branquias para así aprovechar el plancton (Woyanovich, 1986).

movimiento de los mismos (se llena como un tubo abierto moviéndose dentro del líquido). Los movimientos y contracciones (energía muscular) cuando está llena, hacen que la branquispina actúe en forma análoga a una bomba peristáltica pues el espacio donde está el fluido se reduce por aplastamiento y cierre simultáneo del extremo de ingreso (válvula de cheque) y por tanto fluye hacia el extremo opuesto y se comprime contra las paredes filtrantes de manera que el agua pasa hacia las branquias y se retiene el plancton y otros sólidos.

El plancton atrapado por las branquispinas es mezclado con los alimentos ingeridos por la boca y transportados al estómago por el esófago que actúa como un tubo transportador.

E2. DIGESTIÓN ESTOMACAL

En el estómago de los peces¹⁰² pueden reconocerse de una a tres regiones; una porción cardial, una porción en forma de saco ciego (fúndica) y una porción pilórica. Tiene una conformación histológica (distribución radial y periférica de los equipos de la planta equivalente) similar a la de los mamíferos con cuatro capas: una mucosa, una submucosa, una muscular y una serosa. El revestimiento del estómago tiene muchas células secretorias en adición a las células mucosales (Gisbert, 1998).

En el caso de la cachama la zona cardial es aglandular con células cuboidales y células mucosales de núcleos basales y prominentes microvellos. Esta zona funciona como tanque de almacenamiento, donde se retienen los alimentos hasta que haya acumulada una cantidad determinada, luego de esto se abre el paso hacia la región fúndica mediante la acción de mecanismos análogos a una válvula de cheque.

La región fúndica posee glándulas tubulares profundas (saco bien desarrollado), donde se segrega la batería enzimática, principal corriente de entrada proveniente de otros complejos. En esta zona existen tres clases de células (equipos pertenecientes a: oxínticas, que producen gránulos de pepsina y ácido clorhídrico (Mattisson y Holstein, 1980 citados por Halver, 1989), células endocrinas posiblemente de tres tipos (gastrina, somatostatina y polipéptidos pancreáticos) y células de mucus superficiales posiblemente de tres tipos (sialomucinas, sulfomucinas, mucosubstancias neutras). Las células oxínticas normalmente se encuentran en la parte anterior del estómago y son poco usuales cerca al píloro (Halver, 1989). En síntesis, esta región se asemeja a un reactor complejo constituido por paredes conformadas por pequeños reactores (células) que secretan y adicionan directamente a la mezcla parte de los reactivos (enzimas y ácido). Las reacciones que ocurren, en el caso de la tilapia y la mojarra es en medio ácido (por la presencia del ácido clorhídrico). En términos de movimientos y transferencias de masa se tienen complejas combinaciones de transporte longitudinal hacia el intestino y transporte radial o transversal desde, hacia y a través (en ambas direcciones) de las paredes o tejidos circundantes. La digestión estomacal, particularmente en tilapia alcanza unos valores extremadamente bajos de Ph de 1,25 e incluso 1,0. En la revisión hecha por Hephher (1993) se describe la presencia de pepsina con una mayor actividad proteolítica y afinidad, que su equivalente en mamíferos, mostrando gran eficiencia

¹⁰² Gran variedad de formas. Generalmente es de tipo sigmoideo, con alta capacidad de distensión.

para este tipo de sustratos. También se reportan carbohidrasas con niveles más elevados en peces omnívoros y herbívoros que en carnívoros.

Por último, se encuentra la región pilórica que posee una capa muscular bien desarrollada, con células columnares de núcleo basal y microvellos, y donde disminuye el epitelio glandular. Los ciegos pilóricos, son divertículos o apéndices tubulares presentes en gran número, situados entre el final de la porción pilórica del estómago (de allí su nombre) y la parte proximal del intestino anterior de algunos peces. Los enterocitos que revisten la mucosa de los ciegos pilóricos son células cilíndricas con una superficie apical correspondiente al borde de cepillo. Asociado a su capa serosa, los ciegos pilóricos poseen un gran número de agregados celulares pancreáticos que se intercomunican vascularmente con cada uno de los ciegos y además por medio de conductos pancreáticos. Los ciegos pilóricos se encuentran tapizados por epitelio similar al del intestino. Existe una musculatura cecal que mueve el contenido intestinal hacia adentro y hacia fuera de estos (mecanismos de llenado, vaciado y eventualmente también mezclado interno de y dentro de minúsculos recipientes). El pequeño diámetro y en algunas especies la presencia de pliegues de la mucosa cecal, dotan a los ciegos con una mayor relación área-volumen (superficie de absorción?) que el intestino (Buddington y Diamond, 1987; Eslava, comunicación personal).

No está dicho del todo cuál es la función de los ciegos pilóricos. Las hipótesis propuestas (y aceptadas¹⁰³) acerca de esto son las siguientes:

Digestión enzimática: en la membrana borde de cepillo hay presencia de enzimas disacaridasas como: maltasa, sucrasa y trehalasa y dipeptidasas (Buddington y Diamond, 1987).

Absorción de nutrientes: los ciegos pilóricos histológicamente presentan estructuras de absorción de nutrientes que incrementan el área total de absorción del pez, (Halver, 1989). En cachama blanca el incremento de la superficie de la mucosa por la presencia de pliegues, el hallazgo de estructuras vacuoliformes en los enterocitos y de estructuras de tipo vascular linfático sugieren una función de absorción (Eslava, comunicación personal).

Suponiendo que ambas hipótesis son válidas¹⁰⁴, la región pilórica del estómago podría ser considerada como un reactor en serie, luego del reactor fúndico, donde aún ocurren las reacciones correspondientes a la digestión ácida. Este reactor, posee alrededor de sus paredes, múltiples conductos con filtros moleculares incorporados que permiten la entrada de fluidos provenientes del páncreas y salida de nutrientes que ya fueron hidrolizados. A su vez, en el interior de este reactor, hay componentes equivalentes a un tornillo sin fin, que transportan el contenido hacia las paredes (por la acción de fuerzas centrífugas) y hacia el intestino (fuerzas de traslación).

E3. ABSORCIÓN INTESTINAL

Algunos autores definen únicamente dos regiones intestinales en peces; una región anterior y una región posterior (medio y posterior) (Halver, 1989), las cuales pueden

¹⁰³ Las hipótesis de función fermentativa y de almacenamiento se descartan o corresponden a funciones menos importantes.

¹⁰⁴ No son excluyentes y podrían ser complementarias.

delimitarse con cierta facilidad, aunque en especies agástricas es difícil delimitar estas regiones.

El intestino anterior se inicia inmediatamente después del píloro en las especies con estómago y está estrechamente relacionado con los ciegos pilóricos en las especies que los poseen. La demarcación posterior es variable. En términos generales la característica histológica detectable para diferenciar al menos la región media de la región anterior (en especies en las que se definen tres regiones) es el cambio de epitelio, de revestimiento de un tipo celular columnar secretorio/ hidrocarb a otro de tipo escamoso con alto contenido de células productoras de moco (Smith, 1989). En la cachama blanca es difícil establecer la transición entre intestino medio y posterior; el intestino medio tiende a poseer un menor calibre que el posterior y a ser poco distensible por su contenido; después de aumentar su calibre, la última porción del intestino tiende a disminuir nuevamente antes de desembocar en el ano. La división entre el intestino medio y el posterior esta determinado por el cambio súbito de células columnares de secreción y epitelio de absorción, a células calciformes que secretan principalmente mucus. (Eslava, comunicación personal). La tilapia posee un tracto gastrointestinal con longitud típica de un animal herbívoro (5 a 8 veces la longitud total de su cuerpo).

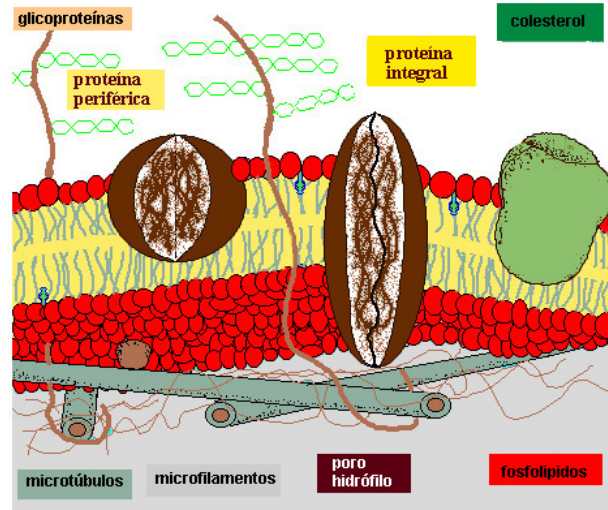
El intestino (delgado, medio y posterior) se considera como una combinación de reactor tubular, mezclador y transportador mecánico con múltiples descargas laterales, cada una de ellas dotada de los correspondientes mecanismos de impulso y filtración de los componentes de salida.

Reactor y mezclador debido a que células ubicadas en las paredes, tales como las células absorptivas, producen y agregan moco (agente tensoactivo) a la corriente principal. Otro tipo de células presentes en el epitelio son las células enteroendocrinas. Los enterocitos (diluyentes) de la primera porción del intestino sirven para la absorción de lípidos y aminoácidos, mientras que los de la región posterior conservan la habilidad de absorber macromoléculas de proteína desde el estado larval de los peces (Nose, 1989).

Transportador mecánico con múltiples salidas laterales porque el intestino posee paredes móviles que mueven los alimentos a través de él y, además, las células de sus paredes están conformadas por distintas células de absorción que conducen los nutrientes hacia el complejo metabolismo. El epitelio intestinal tiene hondos pliegues. Cada pliegue posee una lámina propia bien desarrollada en la que sobresalen vasos de tipo linfático (quilíferos) y una fina red capilar sub – epitelial. El epitelio está constituido por células columnares (cilíndricas), los enterocitos con microvellosidades en su ápice, cumplen una función de absorción.

El mecanismo de filtración consta de una membrana cuya estructura se muestra en la Figura E2 y está compuesta por tres filtros dispuesto en serie transversalmente. El núcleo de la membrana es hidrocarbonato no polar y se encuentra en medio de una bicapa fosfolipídica que la hace impermeable a la mayoría de moléculas polares, impidiendo así, que los metabolitos internos de la célula que en su mayoría están en forma ionizada se difundan al medio exterior que es el resto del organismo del pez (Lenhinger, 1987).

Figura E2. Estructura de las membranas celulares.
Organización de una membrana celular



Fuente. <http://www.monografias.com/trabajos14/absorcion/Image2890.jpg>

La velocidad a la cual los substratos permeabilizan la membrana epitelial del intestino depende del tamaño (mecanismo de separación por tamaño) y la liposolubilidad (análogo a la extracción líquido – líquido, donde solventes inmiscibles y afines con algunos solutos realizan un intercambio de masa) de las moléculas. A un menor tamaño y a una mayor liposolubilidad, difunden más rápido.

ANEXO F

PREPARACIÓN DE ALIMENTOS

La bibliografía habla de requerimientos nutricionales diferentes para cada etapa del cerdo. En la Tabla F1 se muestran las cantidades necesarias diarias para un óptimo desarrollo y desempeño:

Tabla F1. Requerimientos diarios nutricionales de los cerdos para cada etapa.

CLASE DE ANIMAL	Energía digestible (kcal)	Proteína digestible (g)	Fibra cruda (g)	Ca (g)	P (g)
Verraco 110-180 kg	3125	127	100	7,5	5,5
Verraco 180-250 kg	3125	127	100	7,5	5,5
Gestación 1ras. 12 semanas	3125	127	100	7,5	5,5
Gestación 13a. y 14a. semana	3125	127	100	7,5	5,5
Lactancia 1ra. semana	3185	160	75	9,5	7
Lactancia 2da. semana	3185	160	75	9,5	7
Lactancia 3ra. semana	3185	160	75	9,5	7
Iniciación 10 kg	3450	200	40	9	7
Iniciación 20 kg	3450	200	40	9	7
Crecimiento 30 kg	3265	150	60	8	7
Crecimiento 40 kg	3265	150	60	8	6
Crecimiento 50 kg	3265	150	60	8	6
Finalización 60 kg	3150	125	60	8	6
Finalización 70 kg	3150	125	60	8	6
Finalización 80 kg	3150	125	60	8	6
Finalización 90 kg	3150	125	60	8	6

Fuente. [19]

Los alimentos disponibles en el mercado, datos nutricionales respectivos y sus precios con transporte hasta la finca se muestran en la Tabla F2. Utilizando los datos de estas dos tablas se plantearon 16 problemas de programación lineal (uno para cada etapa o conjunto de cerdos), para obtener las respectivas mezclas que tuviesen el menor costo y suplieran las necesidades alimenticias de los animales. Se dispone de varias herramientas software para el efecto, incluida una desarrollada por los autores de este estudio y orientada a resolver el problema planteado en un escenario frecuente. No obstante, el escenario es cambiante, no solo porque los precios de cada insumo pueden cambiar día a día, sino porque, por ejemplo, en un determinado momento no está disponible un insumo o lo está solo en cantidades limitadas, o hay una cosecha local estacional de fruto de palma que hace que en el corto plazo el costo de oportunidad del mismo sea tendiente a cero y muchos otros cambios. Introducir los cambios de escenario en herramienta software de desarrollo propio con escenario específico, resulta difícil o implicaba ampliaciones y adaptaciones de la herramienta. Se prefirió, entonces utilizar una alternativa disponible en Web, muy flexible, de nulo

costo, amigable para introducir los cambios de escenario, útil para resolver otros problemas de programación lineal del proyecto cerdos y de otros (todos los de dieta, por ejemplo). En síntesis, se prefirió una herramienta orientada a la dinámica toma de decisiones en vez de la orientada a soportar este informe.

Tabla F2. Información nutricional de diferentes insumos.

ALIMENTO		EN BASE SECA					Precio con transporte (\$/kg)	
		Materia seca (g/kg de alimento)	Energía digestible (kcal/kg)	Proteína digestible (g/kg)	Fibra cruda (g/kg)	Ca (g/kg)		P (g/kg)
Polvillo de trigo	A	887	3236	129,4	82,3	1,35	8,7	183,3
Salvado de trigo	B	890	2820	137	112	1	13	463,3
Mogolla de trigo	C	887	2954	123	107	1,47	10,7	547,3
Harina de trigo	D	860	4105	107,25	35	0,3	0,3	573,3
Repila de maíz	E	860	4058	81	23	1	3	533,3
R de arroz	F	910	3582	112	121	1	20	533,3
Harina de pollo	G	903	4429,68	513,3	11,1	18	8	393,3
Harina de pescado	H	920	3707	608	11	7	8	393,3
Melaza	I	750	3280	23	0	12	1	780
Fruto de palma entero	J	650	3027,2	147,8	406	-	-	241
Concentrado preiniciador	K	870	1854,359821	220,4730392	34,5	9,2	8	1333,3
Concentrado iniciador	L	870	1769,831548	203,9636653	34,5	9,2	8	1233,3
Concentrado levante	M	870	1731,522237	183,1615376	42,5	9,2	8	933,3
Concentrado de engorde	N	870	1946,486829	181,6822434	57,5	9,2	9,2	733,3
Concentrado de engorde económico	O	870	1571,561912	130,6573605	53	10,3	9,2	608,3
Cerdomix	Q	870	2992,010642	415,0230155	46	29	19,5	1483,3
Concentrado de gestación	R	870	1752,222399	156,5723313	57,5	10,3	10,3	1508,3
Concentrado de lactancia	S	870	2069,607489	175,3569437	50,6	11,5	10,3	1583,3
Caliza molida	T	1000	0	0	0	300	0	100

http://people.hofstra.edu/faculty/Stefan_Waner/RealWorld/simplex.html, es la página donde se encuentra la herramienta referida; es un programa que utiliza el método simplex para la solución de estos problemas. Cuando se tuvo en cuenta la restricción correspondiente a los requerimientos de calcio, en las cinco soluciones se encontraba que se debía alimentar a los animales prácticamente con solo caliza, en contra de la experiencia y dinámica de la digestibilidad de la caliza, por razones biológicas que no se pueden introducir en la rígida estructura de información de la programación lineal. Así pues, se elimina esta restricción de cada uno de los problemas de programación lineal, se garantiza el cumplimiento de los demás requerimientos nutricionales y en cuanto al calcio se añade a la mezcla calculándolo como la caliza necesaria para completar. Entre otras cosas esto es lo que ocurre en la práctica para la formulación de alimentos. A continuación se muestra el planteamiento para el primer problema y su solución óptima:

Para reproductores 110 – 180 kg:

☀ Cuando hay disponibilidad de polvillo:

$$\text{Minimize Precio} = (183.3/(1-0.113))a + (463.3/(1-0.11))b + (547.3/(1-0.113))c + (573.3/(1-0.14))d + (533.3/(1-0.14))e + (533.3/(1-0.09))f + (393.3/(1-0.097))g + (393.3/(1-0.08))h + (780/(1-0.25))i + (241/(1-0.35))j + (1333.3/(1-0.13))k + (1233.3/(1-0.13))l + (933.3/(1-0.13))m + (733.3/(1-0.13))n + (608.3/(1-0.13))o + (1483.3/(1-0.13))q + (1508.3/(1-0.13))r + (1583.3/(1-0.13))s$$

“se divide por 1 – fracción húmeda porque se tienen precios para materias húmedas”

subject to:

$$a + b + c + d + e + f + g + h + i + j + k + l + m + n + o + q + r + s \geq 2.9 \text{ kg Materia seca}$$

$$a + b + c + d + e + f + g + h + i + j + k + l + m + n + o + q + r + s \leq 2.9 \text{ kg Materia seca}$$

$$3236a + 2820b + 2954c + 4105d + 4058e + 3582f + 4429.68g + 3707h + 3280i + 3027.2j + 1854.36k + 1769.83l + 1731.52m + 1946.49n + 1571.56o + 2992.01q + 1752.2r + 2069.6s \geq 3125 \text{ kcal}$$

$$129.4a + 137b + 123c + 107.25d + 81e + 112f + 513.3g + 608h + 23i + 147.8j + 220.47k + 203.964l + 183.16m + 181.68n + 130.66o + 415.023q + 456.57r + 175.36s \geq 127 \text{ g proteína}$$

$$82.3a + 112b + 107c + 35d + 23e + 121f + 11.1g + 11h + 406j + 34.5k + 34.5l + 42.5m + 57.5n + 53o + 46q + 57.5r + 50.6s \geq 100 \text{ fibra}$$

$$8.7a + 13b + 10.7c + 0.3d + 3e + 20f + 8g + 8h + 1i + 8k + 8l + 8m + 9.2n + 9.2o + 19.5q + 10.3r + 10.3s \geq 5.5 \text{ g P}$$

Optimal Solution:

$$\text{Precio} = \$ 599.3$$

$$a = 2,9 \text{ kg (Materia seca polvillo)}$$

$$A = 3,27 \text{ kg polvillo}$$

La cantidad de calcio aportada por esta ración es 3,8313 g de modo que se adicionan 0,0122 kg de caliza que aumentan el precio de la ración diaria por animal en \$ 1,22. Así la ración diaria cuesta \$ 600,52 y pesa 3.282 kg.

☀ Cuando no hay polvillo:

$$\text{Minimize Precio} = (463.3/(1-0.11))b + (547.3/(1-0.113))c + (573.3/(1-0.14))d + (533.3/(1-0.14))e + (533.3/(1-0.09))f + (393.3/(1-0.097))g + (393.3/(1-0.08))h + (780/(1-0.25))i + (241/(1-0.35))j + (1333.3/(1-0.13))k + (1233.3/(1-0.13))l + (933.3/(1-0.13))m +$$

$$(733.3/(1-0.13))^n + (608.3/(1-0.13))^o + (1483.3/(1-0.13))^q + (1508.3/(1-0.13))^r + (1583.3/(1-0.13))^s$$

subject to:

$$b + c + d + e + f + g + h + i + j + k + l + m + n + o + q + r + s \geq 2.9 \text{ kg Materia seca}$$

$$b + c + d + e + f + g + h + i + j + k + l + m + n + o + q + r + s \leq 2.9 \text{ kg Materia seca}$$

$$2820b + 2954c + 4105d + 4058e + 3582f + 4429.68g + 3707h + 3280i + 3027.2j + 1854.36k + 1769.83l + 1731.52m + 1946.49n + 1571.562o + 2992.01q + 1752.2r + 2069.6s \geq 3125 \text{ kcal}$$

$$137b + 123c + 107.25d + 81e + 112f + 513.3g + 608h + 23i + 147.8j + 220.47k + 203.964l + 183.16m + 181.68n + 130.66o + 415.023q + 456.57r + 175.36s \geq 127 \text{ g prote\u00edna}$$

$$112b + 107c + 35d + 23e + 121f + 11.1g + 11h + 406j + 34.5k + 34.5l + 42.5m + 57.5n + 53o + 46q + 57.5r + 50.6s \geq 100 \text{ fibra}$$

$$13b + 10.7c + 0.3d + 3e + 20f + 8g + 8h + 1i + 8k + 8l + 8m + 9.2n + 9.2o + 19.5q + 10.3r + 10.3s \geq 5.5 \text{ g P}$$

Optimal Solution:

Precio = \$ 1114

h = 0.6875 kg (materia seca de harina de pescado)

H = 0.75 kg Harina de pescado

j = 2.212 kg (materia seca fruto de palma)

J = 3.4 kg Fruto de palma

La cantidad de calcio aportada por esta raci\u00f3n es 4.8125 g de modo que se adicionan 0,009 kg de caliza que aumentan el precio de la raci\u00f3n diaria por animal en \$ 0,9. As\u00ed la raci\u00f3n diaria cuesta \$ 1114,9 y pesa 4,159 kg.

De la misma manera se procedi\u00f3 para cada etapa del animal, los datos obtenidos se muestran a continuaci\u00f3n en la Tabla F3.

Tabla F3. Composici\u00f3n de las mezclas.

ETAPA		Con polvillo	Costo raci\u00f3n (\$)	Cantidad mezcla (kg)	Sin polvillo	Costo raci\u00f3n (\$)	Cantidad mezcla (kg)
Reproductor	110-180 kg	3.27 kg Polvillo 0.012 kg Caliza	600.52	3.282	0.75 kg H Pescado 3.4 kg Fruto palma 0.009 kg Caliza	\$ 1114.9	4.159
Reproductor	180-250 kg	3.5 kg Polvillo 0.011 kg Caliza	641.72	3.511	0.75 kg H Pescado 3.71 kg Fruto palma 0.009 kg Caliza	\$ 1189.1	4.47

ETAPA	Con polvillo	Costo ración (\$)	Cantidad de mezcla (kg)	Sin polvillo	Costo ración (\$)	Cantidad mezcla (kg)
Gestación 1ras 12 sem	2.255 kg Polvillo 0.016 kg Caliza	414.9	2.271	0.75 kg H pescado 2.02 kg Fruto palma 0.009 kg Caliza	\$ 781.25	2.775
Gestación 13a y 14a sem	3.04 kg Polvillo 0.013 kg Caliza	\$ 559.25	3.06	0.75 kg H Pescado 3.09 kg Fruto palma 0.009 kg Caliza	\$ 1040.8	3.852
Lactancia semana 1ra	4.23 kg Polvillo 0.015 kg Caliza	\$ 776.44	4.243	0.95 kg H Pescado 4.42 kg Fruto palma 0.012 kg Caliza	\$ 1441.2	5.39
Lactancia semana 2da	5.07 kg Polvillo 0.012 kg Caliza	\$ 931.08	5.085	0.95 kg H Pescado 5.58 kg Fruto palma 0.012 kg Caliza	\$ 1719.3	6.54
Lactancia semana 3ra	6.31 kg Polvillo 0.007 kg Caliza	\$ 1157.9	6.32	0.95 kg H Pescado 7.27 kg Fruto palma 0.012 kg Caliza	\$ 2127.2	8.23
Iniciación 10 kg	0.005 kg Polvillo 0.7 kg H Pollo 0.105 kg Fruto palma	\$ 299.48	0.8	0.7 kg H Pollo 0.106 kg Fruto palma	\$ 300.02	0.8

ETAPA	Con polvillo	Costo ración (\$)	Cantidad de mezcla (kg)	Sin polvillo	Costo ración (\$)	Cantidad mezcla (kg)
Iniciación 20 kg	0.51 kg Polvillo 0.5 kg H Pollo 0.001 kg Caliza	\$ 289.2	1	0.18344 kg Repila de arroz 0.2289 kg H Pollo 0.5876 kg Fruto palma 0,07 kg Caliza	\$ 329.48	1.01
Crcimiento 30 kg	1.35 kg Polvillo 0.022 kg Caliza	\$ 250.13	1.374	0.95 kg H Pescado 0.5 kg Fruto palma 0.007 kg Caliza	\$ 495.26	1.46
Crecimiento 40 kg	1.69 kg Polvillo kg Caliza	\$ 311.98	1.711	0.815 kg H Pescado 1.154 kg Fruto palma 0.009 kg Caliza	\$ 599.6	1.98
Crecimiento 50 kg	2.03 kg Polvillo 0.019 kg Caliza	\$ 373.9	2.05	0.815 kg H Pescado 1.615 kg Fruto palma 0.009 kg Caliza	\$ 710.83	2.44
Finalización 60 kg	2.37 kg Polvillo 0.017 kg Caliza	\$ 435.67	2.384	0.82 kg H Pescado 2.08 kg Fruto palma 0.009 kg Caliza	\$ 822.06	2.9
Finalización 70 kg	2.59 kg Polvillo 0.016 kg Caliza	\$ 476.9	2.609	0.82 kg H Pescado 2.39 kg Fruto palma 0.009 kg Caliza	\$ 893.22	3.21
Finalización 80 kg	2.82 kg Polvillo 0.016 kg Caliza	\$ 518.23	2.83	0.82 kg H Pescado 2.7 kg Fruto palma 0.009 kg Caliza	\$ 970.4	3.52
Finalización 90 kg	3.044 kg Polvillo 0.015 kg Caliza	\$ 559.46	3.06	0.82 kg H Pescado 3 kg Fruto palma 0.009 kg Caliza	\$ 1044.5	3.82

