



**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ESCUELA DE CIENCIAS QUIMICAS**

**“DISEÑO DE UN BIODIGESTOR DE “BOLSA FLEXIBLE” CON DESECHOS  
DE GANADERÍA, EN LA COMUNIDAD SHOBOL LLIN LLIN, 2013”**

**TESIS DE GRADO**

PREVIA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE

**INGENIERA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL**

**PRESENTADO POR**

**FANNY INDALICIA PACA TELENCHANO**

**RIOBAMBA-ECUADOR**

2013

## **DEDICATORIA**

*Papi Juan, mami María, con todo mi amor mi tesis se la dedico a ustedes, como testimonio de gratitud y de eterno agradecimiento por mi existencia, por sus esfuerzos, apoyo incondicional, porque se han sacrificado para educarme, formarme y darme su amor en abundancia.*

*A mis queridos hermanos Juan y Diego y mis bellas hermanitas Bertha, Manu, Lucia, Flor, por motivarme a superarme a mí misma.*

*A toda mi familia y amig@s quienes sin esperar nada a cambio estuvieron a mi lado apoyándome y lograron que mi anhelo se haga realidad.*

*Los quiero muchísimo 😊😊😊*

## **AGRADECIMIENTO**

*Agradezco a Dios por ser maravilloso, por brindarme toda la armonía, sabiduría e inteligencia para realizar esta investigación y lo recibo con humildad e inmensa alegría.*

*A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ciencias Químicas, por recibirme con las puertas abiertas, donde he logrado formar para un futuro como Ingeniera en Biotecnología Ambiental.*

*A todos los docentes de la Escuela de Ciencias Químicas, por las enseñanzas en este proceso de formación como profesional, en especial a mi Directora de Tesis Dra. Magdy Mileni Echeverría Guadalupe y Asesor Dr. Gerardo León, quienes con su aporte incondicional supieron guiarme durante la presente investigación.*

*A mis queridos padres Juan y María, por todo el apoyo y ayuda necesaria brindada cada momento, gracias por hacer posible la realización de mi sueño y anhelo de mi vida profesional.*

*A todos ustedes mi más profundo agradecimiento.*

# ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

## FACULTAD DE CIENCIAS

### ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

El Tribunal de Tesis certifica que: El trabajo de investigación: **“DISEÑO DE UN BIODIGESTOR DE “BOLSA FLEXIBLE” CON DESECHOS DE GANADERÍA, EN LA COMUNIDAD SHOBOL LLIN LLIN, 2013”**, de responsabilidad de la señorita Egresada Fanny Indalicia Paca Telenchano, ha sido prolijamente revisado por los Miembros del Tribunal de Tesis, quedando autorizada su presentación.

**FIRMA**

**FECHA**

Dr. Silvio Álvarez  
**DECANO DE LA FACULTAD  
DE CIENCIAS**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Dra. Nancy Veloz  
**DIRECTORA DE LA ESCUELA  
DE CIENCIAS QUÍMICAS**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Dra. Magdy Echeverría.  
**DIRECTORA DE TESIS**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Dr. Gerardo León.  
**ASESOR DE TESIS**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Dr. Robert Cazar  
**MIEMBRO DE TRIBUNAL**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**DIRECTOR DEL DPTO.  
DE DOCUMENTACIÓN**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**NOTA DE TESIS ESCRITA**

\_\_\_\_\_

*“Yo, Fanny Indalicia Paca Telenchano, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta Tesis, y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado pertenecen a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO”*

**FANNY INDALICIA PACA TELENCHANO**

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

Ac.	Ácido.
AGV	Ácidos grasos volátiles.
AG	Ácidos grasos.
cm	Centímetros.
C/N	Relación carbono-nitrógeno.
CE	Cantidad de estiércol.
CD	Carga diaria.
CT	Cantidad Total de Energía consumida.
° C	Grados Centígrados.
d	Diámetro del digestor.
DQO	Demanda Química de Oxígeno.
DBO <sub>5</sub>	Demanda Bioquímica de Oxígeno.
ESPOCH	Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
Ex – situ	Fuera de su hábitat natural.
g	Gramos.
U.G.G.	Peso de unidades de ganado grande
GPS	Sistema de Posicionamiento Global.
GLP	Gas Licuado de Petróleo.
GEI	Gases de Efecto Invernadero.
ha	Hectáreas.
hPa	Hectopascal.
IGM	Instituto Geográfico Militar.
INAMHI	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología.
INEC	Instituto Nacional de Estadísticas y Censos.
In-situ	En el sitio o en el lugar.
Kcal	Kilo caloría.
kg	Kilogramos
kg/m <sup>3</sup>	Kilogramos por metro cúbico.
KWH	Kilovatio Hora.
L	Litros.

m/s	Metros por segundo.
m <sup>2</sup>	Metros cuadrados.
m <sup>3</sup>	Metros cúbicos.
mL	Mililitros.
mg/L	Miligramos por litros.
m.s.n.m.	Metros sobre el nivel del mar.
MO	Materia Orgánica.
pH	Potencial de hidrogeno.
PVC	Policloruro de Vinilo.
PD y OT	Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial.
Q	Peso fresco de cada materia.
RV	Residuos de ganado vacuno.
ST	Sólidos Totales.
SV	Sólidos Volátiles.
SS	Sólidos Suspendidos.
SD	Sólidos Disueltos.
°T	Temperatura.
TRH	Tiempo de retención hidráulico.
TRSB	Tiempo de Retención de los Sólidos Biológicos.
VCO	Velocidad de carga orgánica.
V <sub>CD</sub>	Volumen de la carga diaria de entrada.

**SIMBOLOGIA**

CH <sub>4</sub>	Metano.
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono.
Cr	Cromo.
Cu	Cobre.
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Óxido de hierro (III).
H <sup>+</sup>	Ión Hidrógeno.
H <sub>2</sub>	Hidrógeno.
H <sub>2</sub> S	Sulfuro de hidrógeno.
H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Ácido Carbónico.
H <sub>2</sub> O	Agua.
K	Potasio.
O <sub>2</sub>	Oxígeno.
N	Nitrógeno.
Ni	Níquel.
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Ión amonio.
NH <sub>3</sub>	Amoníaco.
P	Fósforo.
Pb	Plomo.
SO <sub>2</sub>	Dióxido de azufre.
Zn	Zinc.



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ABREVIATURAS .....	I
SIMBOLOGIA.....	III
ÍNDICE GENERAL.....	IV
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS .....	X
ÍNDICE DE ANEXOS .....	XI
INTRODUCCIÓN .....	XII
ANTECEDENTES.....	XIII
JUSTIFICACIÓN .....	XIV
OBJETIVOS .....	XV
OBJETIVO GENERAL .....	xv
OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	xv
CAPÍTULO I .....	- 1 -
1. MARCO TEÓRICO .....	- 1 -
1.1. Energía de la biomasa. ....	- 1 -
1.1.1. Residuos ganaderos .....	- 1 -
1.2. Tecnologías y principios de la digestión anaerobia.....	- 2 -
1.2.1. Las fases de la digestión anaerobia.....	- 3 -
1.2.1.1. Etapa hidrolítica.....	- 4 -
1.2.1.2. Etapa acidogénica .....	- 4 -
1.2.1.3. Etapa acetogénica .....	- 5 -
1.2.1.4. Etapa metanogénica .....	- 5 -
1.3. Parámetros a considerar en el diseño de un biodigestor .....	- 5 -
1.3.1. Factores que se debe controlar en el proceso de producción de biogás.....	- 6 -
1.3.1.1. Temperatura. ....	- 6 -
1.3.1.2. Agitación. ....	- 8 -
1.3.1.3. Tiempo de retención. ....	- 8 -
1.3.1.4. Velocidad de carga orgánica (vco) .....	- 10 -
1.3.1.5. Potenciales y rendimientos.....	- 11 -
1.3.1.6. Tóxicos e inhibidores de la metanogénesis .....	- 11 -
1.3.1.7. Ácidos grasos volátiles. ....	- 11 -
1.3.1.8. Hidrógeno.....	- 12 -
1.3.1.9. Nitrógeno amoniacal.....	- 12 -
1.3.1.10.Sulfatos y sulfuros. ....	- 12 -
1.3.1.11.Cationes y metales pesados. ....	- 13 -
1.3.1.12.Rangos de ph y alcalinidad .....	- 13 -
1.3.1.13.Niveles de sólidos totales y sólidos volátiles. ....	- 14 -
1.3.1.14.Relación carbono/nitrógeno .....	- 16 -
1.4. Biodigestores.....	- 16 -
1.4.1. Componentes de un digestor anaeróbico .....	- 16 -

1.4.1.1. Reactor .....	- 16 -
1.4.1.2. Ingreso del afluente.....	- 17 -
1.4.1.3. Salida del efluente. ....	- 17 -
1.4.1.4. Extracción de lodos.....	- 17 -
1.4.1.5. Sistema de gas .....	- 18 -
1.4.2. Tipos de biodigestor .....	- 18 -
1.4.2.1. Continuos .....	- 19 -
1.4.2.2. Semi continuos .....	- 19 -
1.4.2.3. Discontinuos o régimen estacionario .....	- 20 -
1.4.2.4. Modelo chino.....	- 21 -
1.4.2.5. Modelo indiano.....	- 21 -
1.4.2.6. Biodigestores horizontales. ....	- 22 -
1.4.2.7. Biodigestor cilíndrico .....	- 22 -
1.4.2.8. Biodigestor de estructura flexible.....	- 23 -
1.4.3. Productos finales de la digestión anaerobia .....	- 26 -
1.4.3.1. Bioabono .....	- 26 -
1.4.3.2. Biogás .....	- 27 -
1.4.3.2.1.El biogás como combustible.....	- 28 -
1.4.3.2.2.Principios de la combustión .....	- 29 -
1.4.3.2.3.Usos del biogás .....	- 29 -
1.4.3.2.4.Ventajas del uso de biodigestores como técnica de reciclaje .....	- 30 -
1.4.4. Dimensionamiento .....	- 31 -
1.4.4.1. Cálculos de diseño .....	- 31 -
1.4.4.2. Localización y diseño del biodigestor .....	- 32 -
1.5. Matriz causa efectos .....	- 32 -
1.5.1. Nomenclatura a utilizar .....	- 33 -
1.5.2. La valoración de los criterios es la siguiente: .....	- 33 -
1.5.3. Criterios cuantificables .....	- 35 -
1.5.4. Cuantificación de los impactos ambientales .....	- 36 -
CAPITULO II .....	- 37 -
2. PARTE EXPERIMENTAL .....	- 37 -
2.1. Lugar de investigación.....	- 37 -
2.1.1. Área de influencia directa: .....	- 37 -
2.1.2. Área de influencia indirecta: .....	- 37 -
2.2. METODOLOGÍA.....	- 39 -
2.3. Levantamiento de la línea base ambiental. ....	- 39 -
2.3.1. Materiales.....	- 42 -
2.3.2. Equipos .....	- 42 -
2.4. Cuantificación de la carga diaria del estiércol.....	- 42 -
2.4.1. Materiales.....	- 42 -
2.5. Muestreo y caracterización de la materia prima.....	- 43 -
2.5.1. Metodología para el muestreo .....	- 43 -

2.5.1.1. Materiales .....	- 43 -
2.5.2. Metodología para la caracterización del estiércol .....	- 43 -
2.5.2.1. Materiales .....	- 44 -
2.5.3. Determinaciones in-situ .....	- 44 -
2.5.3.1. Determinación de pH .....	- 44 -
2.5.3.1.1. Materiales .....	- 45 -
2.5.3.1.2. Procedimiento .....	- 45 -
2.5.3.2. Determinación de la temperatura .....	- 45 -
2.5.3.2.1. Materiales .....	- 45 -
2.5.3.2.2. Procedimiento .....	- 45 -
2.5.4. Determinaciones ex-situ .....	- 46 -
2.6. Levantamiento topográfico del lugar .....	- 46 -
2.6.1. Materiales .....	- 46 -
2.6.2. Equipos .....	- 47 -
2.7. Dimensionamiento del biodigestor de bolsa flexible y elaboración de planos. -	47 -
2.7.1. Materiales .....	- 47 -
2.7.2. Procedimiento .....	- 47 -
<b>CAPÍTULO III</b> .....	- 49 -
<b>3. CÁLCULOS, RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	- 49 -
3.1. Diagnóstico ambiental .....	- 49 -
3.1.1. Medio físico .....	- 49 -
3.1.1.1. Topografía .....	- 55 -
3.1.1.2. Características climáticas .....	- 55 -
3.1.1.3. Usos del suelo .....	- 55 -
3.1.1.4. Hidrología .....	- 57 -
3.1.2. Medio biológico .....	- 59 -
3.1.2.1. Flora .....	- 59 -
3.1.2.2. Fauna .....	- 61 -
3.1.2.3. Determinación de la capacidad de carga animal .....	- 63 -
3.1.3. Medio socioeconómico .....	- 67 -
3.1.3.1. Demografía .....	- 67 -
3.1.3.2. Perfil económico de la comunidad shobol llin llin .....	- 68 -
3.1.3.3. Infraestructura vial .....	- 68 -
3.1.3.4. Economía .....	- 69 -
3.1.3.5. Servicios básicos .....	- 69 -
3.2. Valoración e identificación de impactos .....	- 69 -
3.3. Diseño .....	- 72 -
3.4. Cálculos .....	- 74 -
3.4.1. Requerimientos de combustible .....	- 74 -
3.4.2. Cuantificación del estiércol disponible .....	- 74 -
3.4.3. Cálculo del volumen de la carga diaria de entrada ( $V_{cd}$ ) .....	- 78 -
3.4.4. Tiempo de retención .....	- 78 -

3.4.5.	Volumen del digestor.....	- 78 -
3.4.6.	Volumen líquido ( $V_l$ ).....	- 79 -
3.4.7.	Volumen gaseoso ( $V_g$ ) .....	- 79 -
3.4.8.	Estimación de la producción diaria de biogás .....	- 80 -
3.4.9.	Dimensionamiento de la zanja del biodigestor .....	- 81 -
3.4.10.	Relación óptima entre longitud y diámetro del biodigestor .....	- 82 -
3.4.11.	Pendiente de la zanja.....	- 84 -
3.4.12.	Cálculo del tanque de mezcla.....	- 84 -
3.5.	Forma del biodigestor de bolsa flexible .....	- 85 -
3.6.	Estimación de la producción de bioabono por día.....	- 86 -
3.7.	Resultados y discusiones .....	- 88 -
3.7.1.	Resultados de la caracterización del estiércol .....	- 88 -
3.7.1.1.	pH .....	- 89 -
3.7.1.2.	Sulfuros .....	- 89 -
3.7.1.3.	Demanda química de oxígeno (DQO) .....	- 90 -
3.7.1.4.	Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5).....	- 90 -
3.7.1.5.	Sólidos totales.....	- 90 -
3.7.1.6.	Sólidos en suspensión .....	- 91 -
3.7.1.7.	Los sólidos volátiles ( $S_v$ ) .....	- 91 -
3.7.1.8.	Ceniza .....	- 91 -
3.7.1.9.	Humedad .....	- 92 -
3.8.	Levantamiento Topografico y selección del sitio.....	- 92 -
3.9.	Estimación del presupuesto de la construcción del biodigestor .....	- 95 -
3.10.	Ingresos .....	- 97 -
CAPÍTULO IV.....		- 98 -
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	- 98 -
4.1.	Conclusiones .....	- 98 -
4.2.	Recomentaciones .....	- 99 -
CAPÍTULO V .....		- 100 -
5.	Resumen.....	- 100 -
5.1.	Abstract .....	- 101 -
CAPÍTULO VI.....		- 102 -
6.	Bibliografía .....	- 102 -
CAPÍTULO VII .....		- 108 -
7.	Anexos .....	- 108 -

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Rangos de temperatura y tiempos de fermentación anaeróbica. ....	- 7 -
Tabla 2. Datos promedios del contenido de solidos totales de diversos residuos.....	- 15 -
Tabla 3. Principales gases.....	- 27 -
Tabla 4. Características generales del biogás. ....	- 28 -
Tabla 5. Utilización y consumo de biogás.....	- 28 -
Tabla 6. Aplicaciones del biogás .....	- 30 -
Tabla 7. Valores y características del estiércol de algunos animales.....	- 32 -
Tabla 8. Procedimiento de ponderación de los criterios de evaluacion. ....	- 35 -
Tabla 9. Método empleado para el análisis físicos-químicos del estiércol vacuno. ..	- 46 -
Tabla 10. Datos de temperatura promedio por año .....	- 49 -
Tabla 11. Listado de la flora de la granja "quilotuña". ....	- 59 -
Tabla 12. Listado de fauna de la granja "quilotuña". ....	- 61 -
Tabla 13. Matriz de identificación de impactos ambientales .....	- 70 -
Tabla 14. Matriz de cuantificación de impactos ambientales.....	- 71 -
Tabla 15. Datos de los ejemplares bovinos .....	- 75 -
Tabla 16. Datos experimentales de la cantidad de estiércol diario producido en la granja (CE).....	- 75 -
Tabla 17. Diferentes dimensiones de la zanja.....	- 81 -
Tabla 18. Posibles dimensiones de la zanja.....	- 82 -
Figura 9. Biodigestor de bolsa flexible.....	- 86 -
Tabla 19. Cantidad de nutrientes obtenido del bioabono .....	- 87 -
Tabla 20. Resultados de los análisis fisicoquímicos de las muestra de estiércol.....	- 88 -
Tabla 21. Biodigestor de bolsa flexible.....	- 94 -
Tabla 22. Costo de los materiales del biodigestor de bolsa flexible .....	- 95 -
Tabla 23. Costos de materiales para los tanques de carga y descarga. ....	- 96 -
Tabla 24. Costo de mano de obra directa .....	- 96 -
Tabla 25. Gastos de transporte.....	- 96 -
Tabla 26. Costo total del proyecto .....	- 96 -
Tabla 27. Factura por combustible.....	- 97 -
Tabla 28. Parámetros de medición con la estacion metereologica portátil .....	- 121 -

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Grafico 1. Fases de la fermentación anaerobia y poblaciones de microorganismos....	- 3 -
Gráfico 2. Producción de biogás en función de la temperatura. ....	- 7 -
Gráfico 3. Tasa de crecimiento relativo de microorganismos psicrófilos, mesófilos y termófilos. ....	- 8 -
Gráfico 4. Eliminación de sólidos volátiles, sv (%) y producción volumétrica de gas pv (m <sup>3</sup> biogás/m <sup>3</sup> .dia) para un reactor anaerobio continuo de mezcla completa, en función del tiempo de retención hidráulica. ....	- 10 -
Gráfico 5. Dependencia del ph de la actividad metanogénica.....	- 14 -
Grafico 6. Composición del biogás.....	- 27 -
Gráfica 7. Variación de la temperatura por año.....	- 50 -
Gráfica 8. Variación de la temperatura año 2007.....	- 50 -
Gráfica 9. Variación de la temperatura año 2008.....	- 51 -
Gráfica 10. Variación de la temperatura año 2009.....	- 52 -
Gráfica 11. Variación de la temperatura año 2010.....	- 52 -
Gráfica 12. Variación de la temperatura año 2011.....	- 53 -
Gráfica 13. Variación de la temperatura año 2012.....	- 54 -
Gráfica 14. Variación de la temperatura año 2013.....	- 54 -
Gráfica 15. Población actual.....	- 68 -
Gráfico 16. Diseño del biodigestor bolsa flexible.....	- 73 -

**ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 1. Digestores batch o batelada. ....	- 20 -
Figura 2. Biodigestor tipo chino .....	- 21 -
Figura 3. Biodigestor modelo indiano .....	- 22 -
Figura 4. Biodigestor de polietileno .....	- 25 -
Figura 5. Biodigestor de plástico de bajo costo. ....	- 26 -
Figura 6. Ubicación proyecto biodigestor .....	- 38 -
Figura 7. Uso actual del suelo .....	- 56 -
Figura 8. Cuencas hidrograficas.....	- 58 -

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Ubicación del lugar de estudio.....	- 108 -
Anexo 2. Ubicación del área de influencia indirecta-comunidad shobol llin llin....	- 109 -
Anexo 3. Determinación de la capacidad de carga .....	- 109 -
Anexo 4. Contaminación producto del mal manejo del estiércol .....	- 110 -
Anexo 5. Materiales usados .....	- 111 -
Anexo 6. Determinación de la carga diaria del estiércol.....	- 112 -
Anexo 7. Preparación de la dilución .....	- 113 -
Anexo 8. Medición de los parámetros in-situ .....	- 113 -
Anexo 9. Recolección de la muestra para los análisis fisicoquímicos del estiércol	- 114 -
Anexo 10.Toma de datos con la estación meteorológica .....	- 115 -
Anexo 11. Levantamiento topográfico con gps .....	- 115 -
Anexo 12. Leamiento topográfico y seleccion del sitio .....	- 115 -
Anexo 13. Datos climatológicos de media década.....	- 116 -
Anexo 14. Tiempo de retención en función de la temperatura ambiente. ....	- 122 -
Anexo 15. Resultados de los análisis físico-químicos del estiércol.....	- 123 -
Anexo 16. Plano biodigestor vista planta. ....	- 125 -
Anexo 17. Plano biodigestor vista perfil .....	- 126 -
Anexo 18. Plano zanja corte a y b.....	- 127 -
Anexo 19. Plano vista frontal de la zanja y cúpula del biodigestor .....	- 128 -
Anexo 20. Plano biodigestor bolsa flexible. ....	- 129 -
Anexo 21. Plano tanque de mezcla .....	- 130 -



## INTRODUCCIÓN

Actualmente en el Ecuador, la tecnología de los biodigestores, no son aplicadas en su máximo potencial, debido al desconocimiento y la falta de políticas gubernamentales de capacitación a los usuarios, motivo por el cual los diferentes trabajos realizados en este campo no han tenido el verdadero valor científico y práctico.

El objetivo es diseñar un “digestor de bolsa flexible”, una tecnología sencilla y práctica para la generación de biogás, a partir de los insumos de la granja “Quilotuña” de la Comunidad Shobol Llin llin. Un biodigestor es un método natural que aprovecha la digestión anaerobia de las bacterias que ya habitan en el estiércol, para convertir éste en biogás y fertilizante. El biogás es una composición de gases constituida de metano y dióxido de carbono, pero también contiene otras impurezas.

La metodología en el diseño de un biodigestor de bolsa flexible, involucra la aplicación de fórmulas y ecuaciones geométricas para cuantificar la cantidad de estiércol disponible, que permitirá obtener la mezcla estiércol + agua, seguidamente el tiempo de retención hidráulica, permite calcular los volúmenes líquido y gaseoso del biodigestor, obteniéndose un volumen total. El ajuste final queda con las dimensiones de la zanja del biodigestor, el cual determina la longitud y el ancho del biodigestor. Exponiéndose en los planos de programa de diseño y documentación AutoCAD 2012, detallado para su posterior construcción.

Esta tecnología no constituye un gasto, sino una inversión que traerá a mediano y largo plazo grandes beneficios económicos y ambientales. Se obtiene preciados productos finales como: el biogás y bioabono. Evitará el consumo de la leña y gas licuado, combustibles de gran preocupación, por la escasez de este recurso energético. Permitirá un mejor tratamiento a los desechos ganaderos, ayudará a la disminución de emisiones de gases contaminantes, se eliminarán los olores indeseables provenientes de las heces animales.

## ANTECEDENTES

Los precursores de los digestores, hoy conocidos como biodigestores, son los Chinos e Hindús, quienes inician con gran ímpetu la investigación, luego se extendió en todo el mundo, de tal manera que hoy en la actualidad millones de Biodigestores alimentados con estiércol y desechos vegetales, funcionan cabalmente para abastecer la demanda de combustible en los hogares aldeanos. (20)

En Enero de 2007, Jaime Martí Herrero, introdujo biodigestores de bajo costo en el sector productivo de Bolivia; presentó modelos modernos, orientados a las necesidades y peculiaridades geográficas de las distintas poblaciones de Bolivia en donde se implementó un proyecto piloto, como es la región de Palca- La Paz, encontrándose esta a una altura de más de 4.200 m.s.n.m. Esta propuesta se consideró una tecnología apropiada por su bajo coste de inversión, por su fácil manejo, por requerir poco mantenimiento y por ser accesible a los pequeños productores ganaderos. Funcionó cabalmente para mejorar el abastecimiento de energía. (5)

En los años 2007 y 2008 se instalaron un total de 13 digestores tubulares familiares en la Microcuenca del Jabón Mayo-Perú. Estos están funcionando adecuadamente, manifestando satisfacción por la mayoría de los usuarios, los aspectos más valorados son: la comodidad en la cocción de los alimentos y la mejora del ambiente doméstico, reducción de humos, limpieza de las ollas, etc. (17)

En los últimos años Colombia ha implementado Biodigestores de plástico económico, estos están funcionando perfectamente para refrigeración y calentamiento de agua. El Centro para la Investigación en sistemas Sustentables de Producción Agrícola (CIPAV), recomienda este tipo de biodigestores como tecnología apropiada para hacer mejor uso de los excrementos de ganado. (11)

## JUSTIFICACIÓN

La comunidad Shobol Llin llin cuentan con grandes crianzas de ganado bovino, el estiércol que estos genera no son tratados adecuadamente, por lo que existe graves problemas ambientales y la salud. Por tal motivo creo necesaria la importancia de explotar estos recursos que están al alcance de los moradores de la comunidad, con el fin de generar energía en los hogares de manera sustentable y eco amigable con el planeta.

El presente trabajo de investigación se plantea con el propósito de aprovechar el estiércol que dispone esta comunidad, para facilitar un mejor tratamiento a los desechos del ganado y un posterior se pueda implementar esta tecnología para generar el biogás, con el fin de evitar el consumo de la leña y el consumo del gas licuado que es de gran preocupación, que cada vez hay más escasez de estos recursos energéticos. El proyecto aportará con múltiples beneficios a los habitantes más pobres de la comunidad Shobol Llin llin, para satisfacer las necesidades energéticas. Por lo que se cuenta con el apoyo de la misma comunidad.

Hay que tener presente que estas tecnologías no constituye un gasto, sino una inversión que traerá a mediano y largo plazo grandes beneficios económicos y ambientales al propietario. Por ende el apoyo logístico estará a cargo del propietario del terreno donde se desarrollara la presente investigación.

Usar energías alternativas contribuirá al saneamiento ambiental y mitigar el cambio climático por medio de la creación de tecnologías de bajo costo, como es la producción de biogás.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

- Diseñar un “digestor de bolsa flexible” para la producción de biogás, a partir de los excrementos de la ganadería en la comunidad Shobol Llin llin, período 2013.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Caracterizar el estiércol del ganado vacuno mediante los análisis físicos-químicos.
- Analizar el espacio físico donde se prevé construir el “digestor de bolsa flexible”.
- Dimensionar el “digestor de bolsa flexible”.

## **CAPÍTULO I**

### **1. MARCO TEÓRICO**

La presente investigación pretende divulgar el diseño de la tecnología de los biodigestores en la comunidad Shobol Llin llin. (Ver anexo 2) Se trata de adaptar una tecnología sencilla y práctica para la generación de gas natural a partir de los insumos de la granja “Quilotuña”, en este caso los excrementos del ganado vacuno. (Ver nexa 1) Los residuos ganaderos se transforman para obtener biogás del tipo metano, que se usa como combustible.

#### **1.1. ENERGÍA DE LA BIOMASA.**

Biomasa es cualquier materia orgánica originada en un proceso biológico, naturales o artificiales, aprovechable como fuente de energía, puede ser de origen vegetal o animal. Las plantas y los animales almacenan energía gracias a la fotosíntesis, mismo que tiene lugar en presencia de la luz solar en combinación con agua, sales minerales y dióxido de carbono. (3) (16)

##### **1.1.1. RESIDUOS GANADEROS**

Son excrementos de los animales que se utilizan para fertilizar los cultivos, pueden ser líquidos y sólidos. Importante como abono a todas las plantas y a todos los suelos, da consistencia a la tierra arenosa y móvil, ligereza al terreno gredoso y refresca los suelos cálidos, calizos y margosos. La idea es volver a considerar el estiércol como un recurso en lugar de un residuo, valorando su contenido en nutrientes y materia orgánica para el suelo y los cultivos. (23)

La acumulación de estiércol de la ganadería genera problema como la emisión de malos olores, lixiviados a aguas subterráneas y superficiales, contaminación del suelo por aplicación excesiva e incluso riesgos de enfermedades para los animales y para la salud humana. (23) (Ver anexo 4)

## **1.2. TECNOLOGÍAS Y PRINCIPIOS DE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA**

La digestión anaerobia es un proceso biológico, en el que la materia orgánica en ausencia de oxígeno, y por la acción de un grupo de bacterias específicas, se descompone en diferentes gases o biogás ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , etc.) y en bioabono, que es una mezcla de productos minerales (N, P, K, Ca, etc.).(16)

Este proceso es realizado por diversos grupos de microorganismos, principalmente bacterias y protozoos que, en presencia de oxígeno actúan sobre la materia orgánica disuelta, transformándola en productos finales inocuos y materia celular. El estiércol digerido es recuperado como un lodo con 10 a 12% de sólidos y un sobrenadante con 2 a 3% de sólidos. (12) (15)

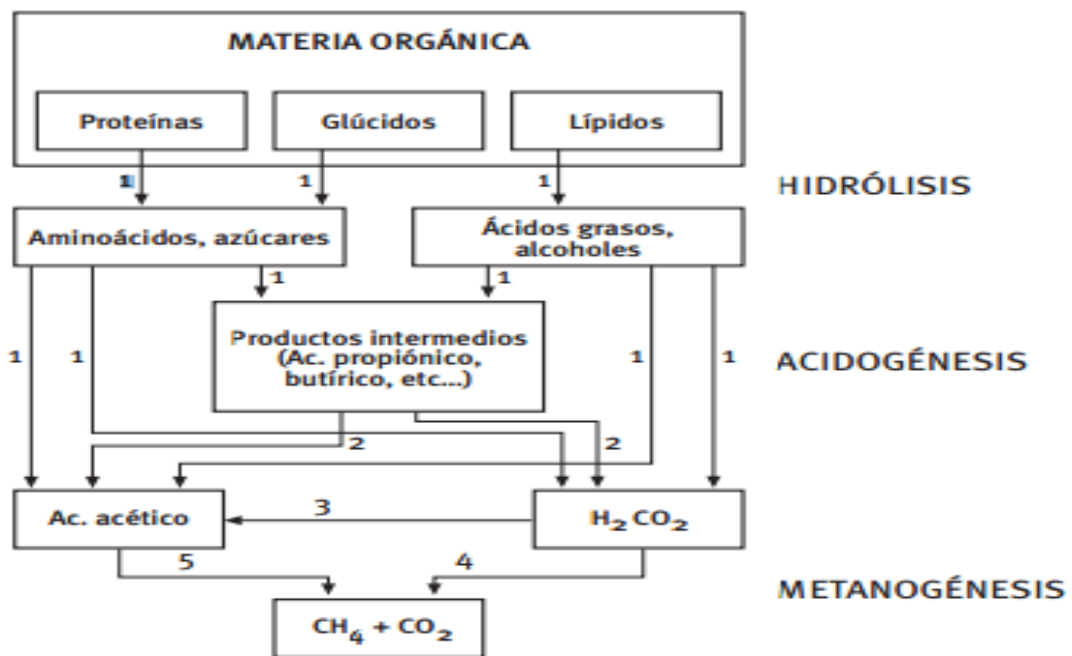
La digestión anaerobia puede emplearse, a residuos ganaderos, agrícolas, así como a los residuos de las industrias de transformación de dichos productos. Aplica también a los procesos de tratamiento de aguas residuales de alta carga orgánica, como las producidas en muchas industrias alimentarias. (16)

El principio de la digestión anaeróbica comprende el proceso biológico complejo y degradativo en el cual parte de los materiales orgánicos de un residuos animales y vegetales son convertidos en biogás, mezcla de dióxido de carbono y metano con trazas de otros elementos, por un consorcio de bacterias que son sensibles o completamente inhibidas por el oxígeno. (5)

En la digestión anaerobia más del 90% de la energía disponible por oxidación directa se transforma en metano, consumiéndose sólo un 10% de la energía en crecimiento bacteriano frente al 50% consumido en un sistema aeróbico. Los microorganismos metanogénicos desempeñan la función de enzimas respiratorias, junto con las bacterias no metanogénicas, constituyen una cadena alimentaria que guarda relación con las cadenas enzimáticas de células aeróbicas. De esta forma, los residuos orgánicos se transforman completamente en biogás. (5)

### 1.2.1. LAS FASES DE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA

GRAFICO 1. FASES DE LA FERMENTACIÓN ANAEROBIA Y POBLACIONES DE MICROORGANISMOS.



FUENTE: CÁMARA K. & LAINES J.

1. Bacterias hidrolíticas-acidogénicas.
2. Bacterias acetogénicas.
3. Bacterias homoacetogénicas.
4. Bacterias metanogénicas hidrogenófilas.
5. Bacterias metanogénicas acetoclásticas. (1)

La digestión anaerobia está caracterizada por la existencia de varias fases consecutivas diferenciadas en el proceso de degradación del sustrato, interviniendo grandes poblaciones de microorganismos. Estas poblaciones se caracterizan por estar compuestas por seres de diferentes velocidades de crecimiento y diferente sensibilidad a cada compuesto intermedio como inhibidor. (2)

Cada etapa presentará diferentes velocidades de reacción según la composición del sustrato, del proceso global requerirá de un equilibrio que evite la acumulación de compuestos intermedios inhibidores o la acumulación de ácidos grasos volátiles (AGV), que podría producir una bajada del pH. La velocidad del proceso está limitada por la velocidad de la etapa más lenta, la cual depende de la composición de cada residuo. Para sustratos solubles, la fase limitante es la metanogénesis, y para aumentar la velocidad la estrategia consiste en adoptar diseños que permitan una elevada concentración de microorganismos acetogénicas y metanogénicas en el reactor. (2)

#### **1.2.1.1. ETAPA HIDROLÍTICA**

Los compuestos orgánicos complejos como los lípidos proteínas e hidratos de carbono, son despolimerizados, por acción de las enzimas hidrolíticas, en moléculas solubles y fácilmente degradables, como azúcares, ácidos grasos de cadena larga, aminoácidos, alcoholes, etc. Se trata de un proceso enzimático extracelular y las bacterias responsables de su generación son las bacterias hidrolíticas-acidogénicas. (1) (2)

#### **1.2.1.2. ETAPA ACIDOGÉNICA**

Los compuestos solubles obtenidos en la etapa anterior se convierten en ácidos grasos de cadena corta, esto es ácido acético, propiónico, butírico y valérico principalmente. Bacterias acidogénicas comúnmente encontradas en digestores incluyen especies de *Butyrivibrio*, *Propionibacterium*, *Clostridium*, *Bacteroides*, *Ruminococos*, *Bifidobacterium*, *Lactobacillus*, *Streptococos* y *Enterobacterias*. (1) (2)



### **1.2.1.3. ETAPA ACETOGÉNICA**

Los compuestos intermediarios como el ácido acético, hidrogeno y dióxido de carbono, son transformados por las bacterias acetogénicas. El metabolismo acetogénico es muy dependiente de las concentraciones de estos productos. En el grupo de bacterias acetogénicas se incluyen las homoacetogénicas, capaces de producir ácido acético a partir de hidrogeno y dióxido de carbono, pertenecientes a los géneros *Acetobacterium*, *Acetoanaerobium*, *Acetogenium*, *Clostridium* o *Eubacterium*. (1) (2)

### **1.2.1.4. ETAPA METANOGENICA**

Es las etapas finales del proceso, compuestos como el ácido acético, hidrogeno son transformados a CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub>. Se distingue dos tipos principales de microorganismos, los que degradan el ácido acético (bacterias metanogénicas acetoclásticas) y los que consumen hidrogeno (metanogénicas hidrogenófilas). (1)

La transcendental vía de formación del metano es la primera, con alrededor del 70% del metano producido, de forma general. Solo microorganismos de los géneros *Methanosarcina* y *Methanothrix* son capaces de producir metano a partir de acético. Otros géneros a los que pertenecen microorganismos Metanogénicos, en este caso hidrogenófilos, son *Methanobacterium*, *Methanococos*, *Methanobrevibacter* o *Methanogenium*, etc. (1) (2)

## **1.3. PARÁMETROS A CONSIDERAR EN EL DISEÑO DE UN BIODIGESTOR**

- a. CARACTERÍSTICAS DEL EFLUENTE: concentración de sólidos, demanda química de oxígeno, demanda biológica de oxígeno, contenido total de nitrógeno, pH, conductividad, relación carbono nitrógeno, alcalinidad. (8)
- b. PARÁMETROS DE DISEÑO: sistema de operación, sistema de carga, sistema de descarga, sistema de agitación, sistema de calefacción, aislamiento térmico, forma, volumen necesario según la carga diaria y el tiempo de retención. (3)

- c. **PARÁMETROS DE LA DIGESTIÓN:** características del efluente, temperatura de digestión, pH, alcalinidad potencial redox, este debe ser lo más reducido posible para eliminar las sustancias oxidantes, factores nutricionales, nitrógeno, relación C/N y contenido de azufre. (3) (8)

### **1.3.1. FACTORES QUE SE DEBE CONTROLAR EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS.**

Los parámetros ambientales que hay que controlar hacen referencia a condiciones que deben mantenerse o asegurarse para el desarrollo del proceso. Estos son:

- pH.
- Alcalinidad
- Potencial redox
- Nutrientes
- Tóxicos e inhibidores.
- Temperatura.
- Agitación.
- Tiempo de retención.
- Velocidad de carga orgánica, OLR en inglés.

#### **1.3.1.1. Temperatura.**

Podrá operarse en los rangos psicrófilico, mesofílico o termofílico. Las tasas de crecimiento y reacción aumentan conforme lo hace el rango de temperatura, pero también a la sensibilidad a algunos inhibidores, como el amoníaco. En el rango termofílico se aseguran tasas superiores de destrucción de patógenos. (10)

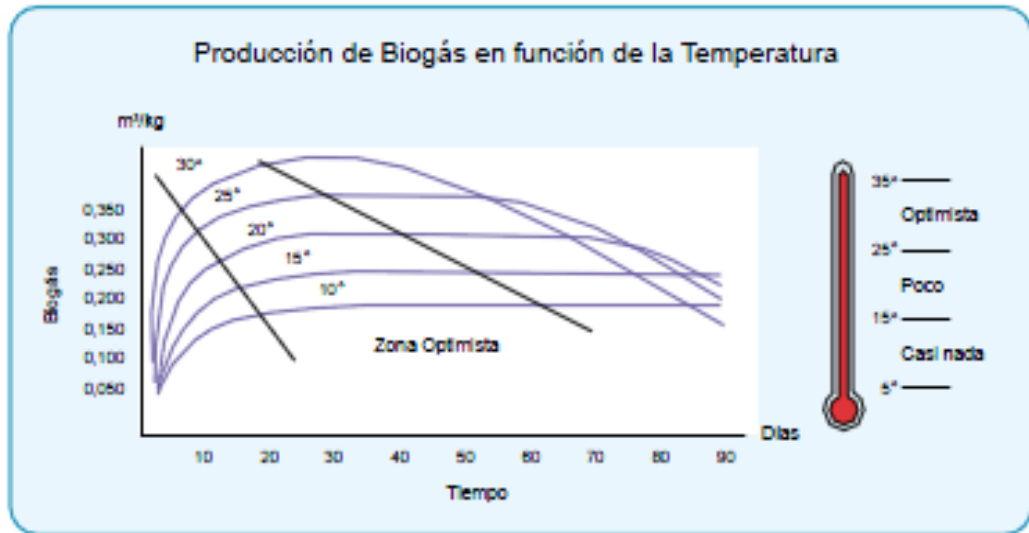
**TABLA 1. RANGOS DE TEMPERATURA Y TIEMPOS DE FERMENTACIÓN ANAERÓBICA.**

Fermentación	Mínimo	Óptima	Máximo	Tiempo de Fermentación
Psicrophilica	4-10 °C	15-18 °C	20-25 °C	Sobre 100 días
Mesophilica	15-20 °C	25-35 °C	35-45 °C	30-60 días
Thermophilica	25-45 °C	50-60 °C	75-80 °C	10-15 días

FUENTE: LAGRANGE, 1979

La actividad biológica se duplica cada incremento en 10°C dentro del rango de temperatura óptima. Para un óptimo funcionamiento del digestor, se recomienda que el tratamiento anaeróbico se diseñe, para que opere con variaciones de temperatura que no excedan los 0.6 – 1.2 °C /día. (13)

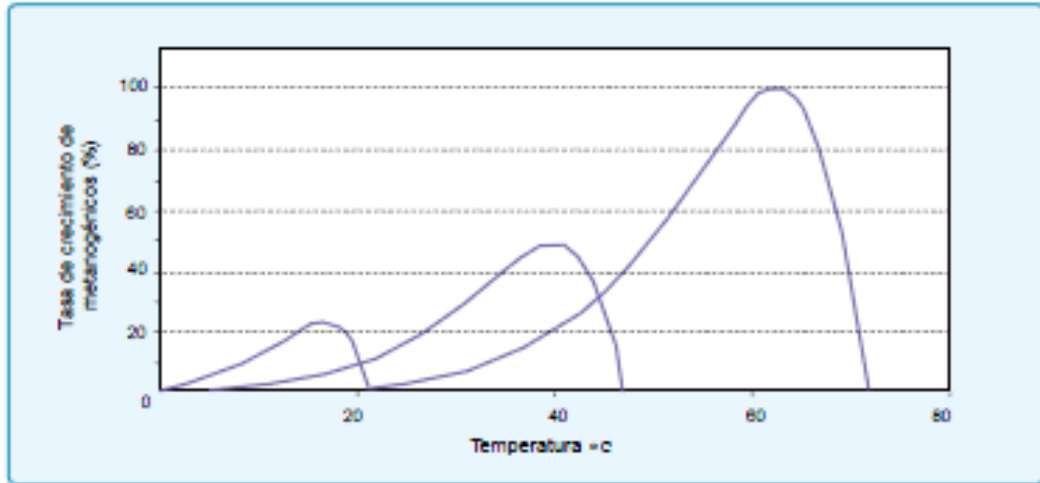
**GRÁFICO 2. PRODUCCIÓN DE BIOGÁS EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA.**



FUENTE: VARNERO, 1991

La solubilidad de los gases generados desciende al aumentar la temperatura, favoreciéndose la transferencia líquido-gas. Esto supone un efecto positivo para gases tales como NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>S, dada su toxicidad sobre el crecimiento de los microorganismos anaeróbicos. (10)

**GRÁFICO 3. TASA DE CRECIMIENTO RELATIVO DE MICROORGANISMOS PSICROFÍLICOS, MESOFÍLICOS Y TERMOFÍLICOS.**



FUENTE: SPEECE,1996

La solubilidad de la mayoría de las sales aumenta con la temperatura de manera que la materia orgánica es más accesible para los microorganismos aumentando así la velocidad del proceso. Al aumentar su solubilidad con la temperatura serán potencialmente más tóxicos, por ende la mayor inhibición de determinados compuestos orgánicos en el rango termofílico, como los ácidos grasos (AG) de cadena larga. (13)

### **1.3.1.2. Agitación.**

En función de la característica del reactor debe transferirse al sistema el nivel de energía necesario para favorecer la transferencia de substrato a cada población o agregados de bacterias, así como homogeneizar para mantener concentraciones medias bajas de inhibidores. (10)

### **1.3.1.3. Tiempo de retención.**

Es el número de días que una cantidad de desechos debe permanecer dentro del digester. Las bacterias requieren de un cierto tiempo para degradar la materia orgánica. El tiempo de retención varía en función de la temperatura ambiente, cuando se emplean desechos de origen animal, la velocidad de degradación está correlacionado con la temperatura ambiente

promedio del sitio, mientras mayor sea la temperatura, menor es el tiempo de retención o fermentación para obtener una buena producción de biogás. (4) (13) (Ver anexo 14)

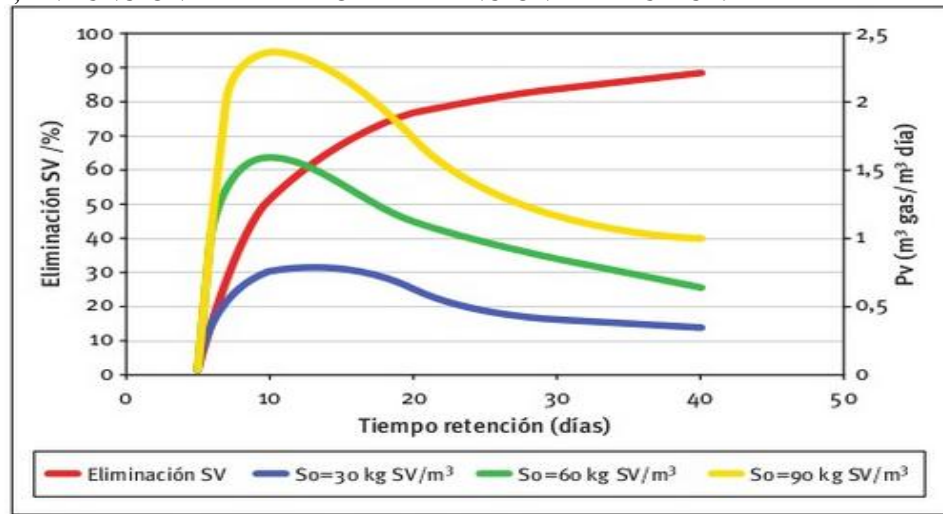
En un digestor que opera en sistema estacionario o “discontinuo”, el tiempo de retención es el que transcurre entre la carga del sistema y su descarga. En un sistema de carga diaria, el tiempo de retención va a determinar el volumen diario de carga que será necesario para alimentar al digestor, ya que se tiene la siguiente relación: (4)

$$\text{Volumen de carga diaria } m^3/\text{día} = \frac{\text{Volumen del digestor } (m^3)}{\text{Tiempo de retención } (\text{días})}$$

La cantidad de biogás producido por un digestor dependerá, de la cantidad de residuo cargado diariamente, mientras menor sea el tiempo de retención, el tamaño del digestor se reduce y también los costos. Existe otro parámetro para identificar el tiempo de retención de las sustancias en el digestor, denominado Tiempo de Retención de los Sólidos Biológicos (TRSB), el que se determina como la relación entre la cantidad de MO o SV que entra al digestor y la cantidad de MO o SV que sale del sistema cada día. El TRSB es asumido para representar la media del tiempo de retención de los microorganismos en el digestor. (10) (13)

Los materiales con mayor proporción de carbono retenido en moléculas resistentes como la celulosa demandarán mayores tiempos de retención para ser totalmente digeridos. En los sistemas de mezcla completa, el tiempo de retención hidráulico (TRH) coincide con el celular, por lo que el tiempo de retención deberá ser suficientemente largo como para asegurar el crecimiento de la población bacteriana. Al incrementar el TRH, aumenta el grado de materia orgánica degradada así como la producción de metano, aunque este último valor comenzará a disminuir una vez alcanzado el óptimo. (4) (13) (10)

**GRÁFICO 4. ELIMINACIÓN DE SÓLIDOS VOLÁTILES, SV (%) Y PRODUCCIÓN VOLUMÉTRICA DE GAS PV (M<sup>3</sup>BIOGÁS/M<sup>3</sup>.DÍA) PARA UN REACTOR ANAEROBIO CONTINUO DE MEZCLA COMPLETA, EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA.**



FUENTE: GIRO

Los índices de eliminación de materia orgánica se expresa en forma de sólidos volátiles, (SV) y de producción específica de gas, por unidad de volumen de reactor, en función del tiempo de retención.

Se observa un tiempo mínimo por debajo del cual el biodigestor no presenta actividad, la eliminación de materia orgánica sigue una tendencia asintótica, con una eliminación completa a tiempo finito y una producción de gas por unidad de volumen de biodigestor con una máxima, para un tiempo de retención correspondiente a una eliminación de substrato entre en 40 y el 60 %. (10)

#### **1.3.1.4. Velocidad de carga orgánica (VCO)**

Es la cantidad de materia orgánica introducida por unidad de volumen y tiempo. Valores bajos implican baja concentración en el influente y/o elevado tiempo de retención, siendo directamente dependiente de la concentración de sustrato y del tiempo de retención fijado. El incremento en la VCO implica una disminución en la producción de gas por unidad de materia orgánica introducida. En ausencia de inhibidores, altas cargas orgánicas proporcionan altas producciones volumétricas de biogás aunque también aumenta el riesgo de sobrecargas puntuales que conllevan a la acidificación del reactor. (8) (10)

#### **1.3.1.5. Potenciales y rendimientos**

La producción de metano o biogás que se obtendrá de residuos ganaderos depende de su producción máxima, del tiempo de retención, de la velocidad de carga orgánica, de la temperatura de operación y de la presencia de inhibidores. (13)

#### **1.3.1.6. Tóxicos e inhibidores de la metanogénesis**

El proceso de digestión anaeróbica es inhibido por la presencia de sustancias tóxicas en el medio. Estas sustancias forman parte de las materias primas que entran al digestor o pueden ser subproductos de la actividad metabólica de los microorganismos anaeróbicos. Sustancias como amoníaco, metales pesados, compuestos halogenados, cianuro y fenoles, sulfuro, amoníaco y ácidos grasos de cadena larga.

Las bacterias anaeróbicas son capaces de degradar compuestos orgánicos complejos. La magnitud del efecto tóxico de una sustancia puede ser reducida significativamente mediante la aclimatación de la población de microorganismos al tóxico. (10)

#### **1.3.1.7. Ácidos grasos volátiles.**

La concentración de ácidos grasos volátiles (AGV), productos intermedios mayoritarios del proceso anaeróbico, es uno de los parámetros que más eficazmente indica la evolución del proceso. Durante la degradación anaeróbica, la materia orgánica compleja es hidrolizada y transformada en compuestos de bajo peso molecular, incluyendo ácidos grasos de cadena corta. Especialmente ácidos acético, propiónico y butírico y en menores cantidades ácidos isobutírico, valérico, isovalérico y caproico. En un sistema anaeróbico óptimo, la concentración de AGV en el efluente es relativamente baja y se encuentra usualmente en el rango de 50-250 mg/L. (10)

Las formas no ionizadas de AGV inhiben las bacterias metanogénicas cuando presentan concentraciones de 30-60 mg/L. Un aumento en la concentración de ácidos volátiles en el

sistema, implica una desestabilización del proceso manifestando una disminución de la producción de biogás. (13)

#### **1.3.1.8. Hidrógeno.**

El hidrógeno es un compuesto intermedio significativo del proceso anaeróbico. Su acumulación en el medio provoca la inhibición de la acetogénesis y la acumulación de ácidos grasos volátiles con más de dos átomos de carbono. (13)

#### **1.3.1.9. Nitrógeno amoniacal**

El amoníaco puede estar presente en las materias primas que entran al digestor o ser producido durante la degradación anaeróbica de compuestos orgánicos nitrogenados como proteínas o aminoácidos. Durante el proceso anaeróbico, el nitrógeno orgánico es hidrolizado dando lugar a formas amoniacales. Aunque el nitrógeno amoniacal es un nutriente importante para el crecimiento bacteriano, una concentración excesiva puede limitar su crecimiento. (10)

#### **1.3.1.10. Sulfatos y Sulfuros.**

Excesivas concentraciones de sulfato en la materia prima puede producir la inhibición del proceso anaeróbico, especialmente de la metanogénesis. La inhibición tiene dos etapas, la primera debida a la competencia por el sustrato entre los microorganismos metanogénicos y sulfato-reductores y la segunda es una inhibición directa del crecimiento metanogénico por la presencia de sulfuros solubles. (10)

En presencia de sulfatos, las bacterias metanogénicas compiten con las sulfato-reductoras por los mismos sustratos (acetato e hidrógeno), de esta competencia se determinará la proporción de ácido sulfhídrico y metano en el biogás producido.



El sulfuro es un inhibidor para muchos grupos bacterianos, se origina durante la degradación de materia orgánica que contiene azufre. Los metanogénicos son más sensibles que los acidogénicos y acetogénicos, comenzando a ser tóxica una concentración de 50 mg/l, si los microorganismos metanogénicos no están aclimatados a los sulfuros. (13)

#### **1.3.1.11. Cationes y metales pesados.**

Los cationes de metales alcalinos y alcalino-térreos poseen un efecto estimulador de la actividad de las bacterias a bajas concentraciones, proporciona toxicidad provocando una disminución de la velocidad de crecimiento.

La toxicidad de los cationes aumenta con el peso molecular, por lo que los metales pesados son los que provocan toxicidad a menor concentración. El orden de toxicidad de los metales pesados es Ni>Cu >Cr (IV) ~ Cr (III)>Pb>Zn. (13)

Los metales solubles constituyen mayores problemas para el proceso que las formas insolubles. La presencia de sulfuros también disminuye la toxicidad de metales mediante la formación de sulfuros de metal insolubles (con excepción de cromo), los cuales precipitan, obteniendo así la tolerancia a elevadas concentraciones de metales pesados. (10)

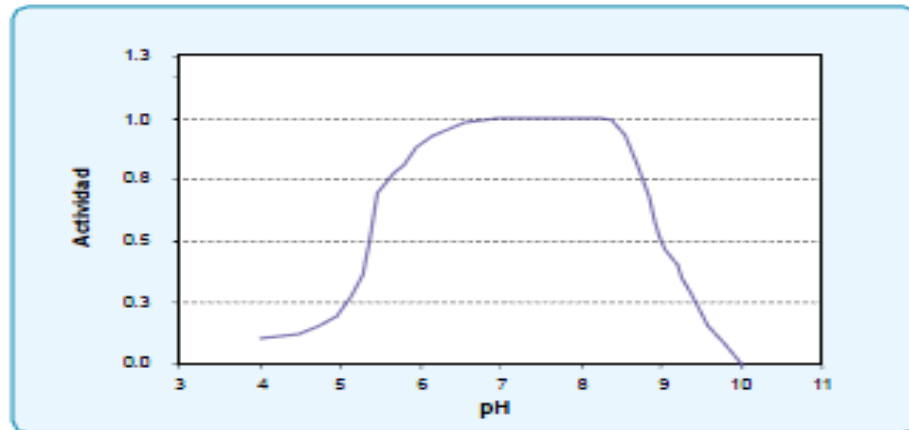
#### **1.3.1.12. Rangos de pH y alcalinidad**

El proceso anaeróbico es afectado con pequeños cambios en los niveles de pH. Los microorganismos metanogénicos son más aptos a las variaciones de pH que los otros microorganismos anaeróbicos. Los diferentes grupos bacterianos presentes en el proceso de digestión anaeróbica exhiben unos niveles de actividad óptimos en torno a la neutralidad. El óptimo es entre 5.5 y 6.5 para acidogénicos y entre 7.8 y 8.2 para metanogénicos. Para que el proceso se desarrolle satisfactoriamente, el pH no debe bajar de 5.5 ni subir de 8.2. El valor del pH en el digestor no sólo determina la producción de biogás sino también su composición. Un descenso del pH a valores inferiores a 6, representa que el biogás generado es muy pobre en metano por lo que tendrá menores cualidades energéticas. La

metanogénesis se considera una etapa limitante del proceso, es necesario mantener el pH del sistema cercano a la neutralidad. (10)

Los valores de pH bajos reducen la actividad de los microorganismos metanogénicos, provocando la acumulación de ácido acético y  $H_2$ . Al aumentar la presión parcial del  $H_2$ , las bacterias que degradan el ácido propiónico serán rigurosamente inhibidas, causando una excesiva acumulación de ácidos grasos volátiles de alto peso molecular, particularmente ácidos propiónico y butírico, los cual disminuirá la producción de ácido acético, generando una disminución del pH. (13)

**GRÁFICO 5. DEPENDENCIA DEL PH DE LA ACTIVIDAD METANOGÉNICA**



FUENTE: SPEECE, 1996

El descenso del pH es causado por la acumulación de ácidos grasos volátiles (AGV), por la gran acumulación de  $CO_2$ . Por ende es necesario reducir la tasa de carga orgánica volumétrica, hasta el punto en el cual los AGV se gasten más rápido de lo que se generan. Una vez que el exceso de AGV se ha consumido, el pH del sistema vuelve a los rangos de operación normales y la metanogénesis vuelve a iniciar. (10)

### **1.3.1.13. Niveles de sólidos totales y sólidos volátiles.**

Generalmente la materia orgánica está compuesta de  $H_2O$  y una fracción sólida llamada sólidos totales (ST). El porcentaje de sólidos totales contenidos en la mezcla con que se

carga el digestor es un factor significativo, asegura que el proceso se efectúe satisfactoriamente. El cambio de las bacterias metanogénicas dentro del sustrato se ve crecientemente limitada a medida que se aumenta el contenido de sólidos y por lo que puede verse afectada la eficiencia y producción de gas. (10) (13)

En la siguiente tabla se muestran datos estimados de sólidos totales en residuos animales y vegetales respectivamente.

**TABLA 2. DATOS PROMEDIOS DEL CONTENIDO DE SÓLIDOS TOTALES DE DIVERSOS RESIDUOS.**

<b>Materias primas</b>	<b>% Sólidos totales</b>
<b>Residuos animales</b>	
Bovinos	13,4-56,2
Porcinos	15,0-49,0
Aves	26,0-92,0
Caprinos	83,0-92,0
Ovejas	32,0-45,0
Conejos	34,7-90,8
Equinos	19,0-42,9
Excretas humanas	17,0
<b>Residuos vegetales</b>	
Hojas secas	50,0
Rastrojo maíz	77,0
Paja trigo	88,0-90,0
Paja arroz	88,8-92,6
Leguminosas (paja)	60,0-80,0
Tubérculos (hojas)	10,0-20,0
Hortalizas (hojas)	10,0-15,0
Aserrín	74,0-80,0

FUENTE: VALNERO Y ARELLANO, 1991

Prácticamente se ha demostrado que una carga en digestores continuos no debe tener más de un 8% a 12 % de sólidos totales para asegurar el buen funcionamiento del proceso, a diferencia de los digestores discontinuos, que tienen entre un 40 a 60% de sólidos totales.

Los sólidos Volátiles (S.V.), son fracciones de sólidos totales que se libera de una muestra, volatilizándose cuando se calienta durante dos horas a 600°C. Los SV contienen componentes orgánicos, los que deben ser convertidos a metano. (32)

#### **1.3.1.14. Relación carbono/nitrógeno**

El carbono y el nitrógeno son las principales fuentes de alimentación de las bacterias metanogénicas. El carbono forma la fuente de energía y el nitrógeno es utilizado para la formación de nuevas células. Los metanos bacterias consumen 30 veces más carbono que nitrógeno, por lo que la relación óptima de estos dos elementos se considera en un rango de 30:1 hasta 20:1. (10) (13)

La materia orgánica es capaz de producir biogás al ser sometida a fermentación anaeróbica. La calidad y la cantidad del biogás producido dependerán de la composición y la naturaleza del residuo utilizado. Los niveles de nutrientes deben de estar por encima de la concentración óptima para los metanos bacterias, ya que ellas se inhiben severamente por falta de nutrientes. (10)

### **1.4. BIODIGESTORES**

Un biodigestor es un procedimiento natural que aprovecha la digestión anaerobia, en ausencia de oxígeno, de las bacterias que ya habitan en el estiércol, para transformar éste en biogás y fertilizante. (5)

#### **1.4.1. COMPONENTES DE UN DIGESTOR ANAERÓBICO**

##### **1.4.1.1. Reactor**

Es un mecanismo donde ocurre el proceso bioquímico de transformación de la materia orgánica. Los reactores de digestión suelen ser de forma cilíndrica, cúbica, ovoide o rectangular. El suelo del reactor está inclinado, para que la arena, el material inorgánico sedimentable y la fracción pesada del afluente consigan ser extraídos del tanque. Digestores modernos tienen cubiertas, fijas o flotantes, cuyo fin es impedir que escapen olores, conservar la temperatura, impedir la entrada de oxígeno y recoger el gas producido. (13)

#### **1.4.1.2. Ingreso del afluente.**

El afluente se introduce por la parte superior del digestor y el sobrenadante se extrae por el lado contrario. Todos los días hay que cargar el biodigestor con una carga de estiércol mezclada 1:4 con agua, es decir una parte es de estiércol y cuatro de agua, conocida como mezcla de carga diaria (estiércol + agua). El estiércol de ganado bovino, en una mezcla de 1:3 es suficiente como se ha visto en la práctica. (5)

Al introducir la materia prima dentro del reactor hay que realizar una serie de operaciones de acondicionamiento. Según del tipo de reactor, el grado de pre-tratamiento será diferente. La intención de estas operaciones es ingresar el residuo, lo más homogéneo posible, con las condiciones fisicoquímicas adecuadas al proceso a ser sometido, sin elementos que puedan dañar el digestor. (10) (13)

#### **1.4.1.3. Salida del efluente.**

En un digestor de cobertura fija puede haber de 3 a 5 tubos de sobrenadante instalados a diferentes niveles, o un único tubo con válvulas a diferentes niveles, para la extracción del mismo. Se prefiere aquel nivel que elimine un efluente de mejor calidad, con la menor cantidad de sólidos. (11)

#### **1.4.1.4. Extracción de lodos.**

Las tuberías de extracción de lodos son colocadas sobre bloques a lo largo del suelo inclinado del digestor. El lodo se elimina por el centro del reactor. Estas tuberías poseen, 15 cm de diámetro o van equipadas con válvulas tapón para impedir obstrucciones, se utilizan para llevar diariamente el lodo del digestor a un sistema de evacuación de lodos. (11)

#### **1.4.1.5. Sistema de gas**

El proceso de digestión anaerobia origina de 400 a 700 litros de gas por cada kilogramo de materia orgánica degradada, según las características del influente. El contenido en metano del gas de un digestor que funcione adecuadamente variará del 65% al 70% en volumen, con una oscilación en el anhídrido carbónico del 30% al 35%. Entre el 1% o 2 % del gas del digestor se compone de otros gases. Debido a la presencia de metano (60%), el gas del digestor tiene un poder calorífico próximo de 500 a 600 kilocalorías por litro. (11)

El sistema de gas lo traslada desde el digestor hasta los puntos de consumo. El mismo que se compone de las siguientes partes:

- Cúpula de gas.
- Válvulas de seguridad.
- Apagallamas.
- Válvulas térmicas.
- Separadores de sedimentos.
- Purgadores de condensado.
- Medidores de gas.
- Manómetros.
- Reguladores de presión.
- Almacenamiento del gas.
- Quemador de los gases sobrantes. (11)

#### **1.4.2. TIPOS DE BIODIGESTOR**

Los biodigestores varían de acuerdo con su complejidad y utilización. Los más sencillos se clasifican dentro de los digestores discontinuos o de cargas por lotes y los más complejos se caracterizan por poseer dispositivos que permiten alimentarlos, proporcionándoles calefacción y agitación. Según su modo de operación con relación a su alimentación o carga se clasifica en los siguientes tipos:

### **1.4.2.1. CONTINUOS**

Manejados especialmente para el tratamiento de aguas negras. En plantas de gran capacidad, tipo industrial, en las cuales se emplean equipos comerciales para alimentarlos, proporcionándoles calefacción y agitación, así como para su control. Dado que se genera una gran cantidad de biogás, éste se aprovecha en aplicaciones industriales. (6) (30)

#### **1.4.2.1.1. Ventajas del biodigestor continuo**

- Se consigue controlar la digestión, requerida por medio de la cantidad de biomasa depositada diariamente.
- La carga y descarga del biodigestor no demanda de operaciones especializadas. (34)

#### **1.4.2.1.2. Desventajas del biodigestor continuo**

- Poca concentración de sólidos que se consiguen depositar interiormente.
- No tiene un buen diseño para tratar materia prima, más pesados que el agua, ya que no cuenta con un agitador.
- Problemas en la limpieza y espuma.
- Alto consumo de agua. (34)

### **1.4.2.2. SEMI CONTINUOS**

Cuando la primera carga que se introduce al digestor consta de una gran cantidad de materias primas. Consecutivamente, se agregan volúmenes de nuevos afluyente, calculados en función del tiempo de retención hidráulico (TRH) y del volumen total del digestor. Se descarga el efluente en la misma cantidad del afluyente que se agregó. Es usado en el medio rural, cuando se trata de sistemas pequeños para uso doméstico. Los más populares son el digestor Indiano y Chino. (6) (30)

### 1.4.2.3. DISCONTINUOS O RÉGIMEN ESTACIONARIO

Se aplican con las materias primas en una sola carga o lote. En la etapa de fermentación, el contenido de materias primas disminuye y el rendimiento de biogás resulta a un bajo nivel. Se puede evacuar los digestores por completo y se alimentan de nuevo dando inicio a un nuevo proceso de fermentación. (6) (30)

**FIGURA 1. DIGESTORES BATCH O BATELADA.**



FUENTE: <http://bio-digestores.blogspot.com/2012/06/tipos-de-biodigestores.html>

#### 1.4.2.3.1. Ventajas del biodigestor discontinuo

- Procesa gran cantidad de materiales y puede recogerse en campos abiertos sin importar si tiene materia seca pues esto no entorpece la operación del biodigestor.
- Se llena con materiales secos que no absorben humedad (que floten en el agua) así como pasto, cascara de frutas y desechos de alimentos.
- Se logra manejar las variables relacionadas con la fermentación como la de la temperatura, tiempo de retención, carga depositada y los períodos de carga y descarga.
- No requiere atención diaria. (34)

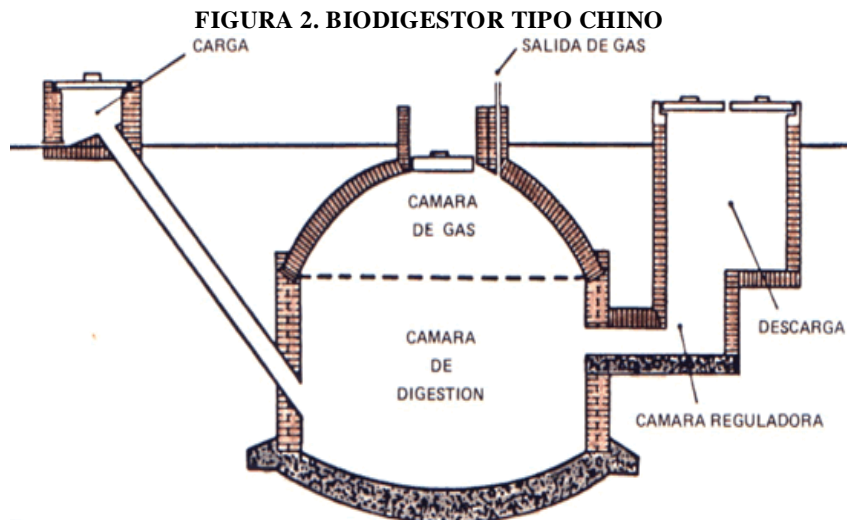


#### 1.4.2.3.2. Desventajas del biodigestor discontinuo

- Requiere de mucho trabajo y paciencia para cargar en el biodigestor.
- Es un trabajo muy tedioso la descargar del biodigestor (34)

#### 1.4.2.4. MODELO CHINO.

Los digestores de este tipo son tanques cilíndricos con el techo y el piso en forma de domo y se construyen totalmente enterrados. El digestor se llena con residuos compostados mezclados con lodos activos de diferente digestor, a través de la cubierta superior, que es removible. Una vez cargado así, es alimentado diariamente con los residuos que se encuentren disponibles, provenientes de la letrina y de los animales domésticos, a través del tubo de carga el cual llega a la parte media del digestor. (6) (30)



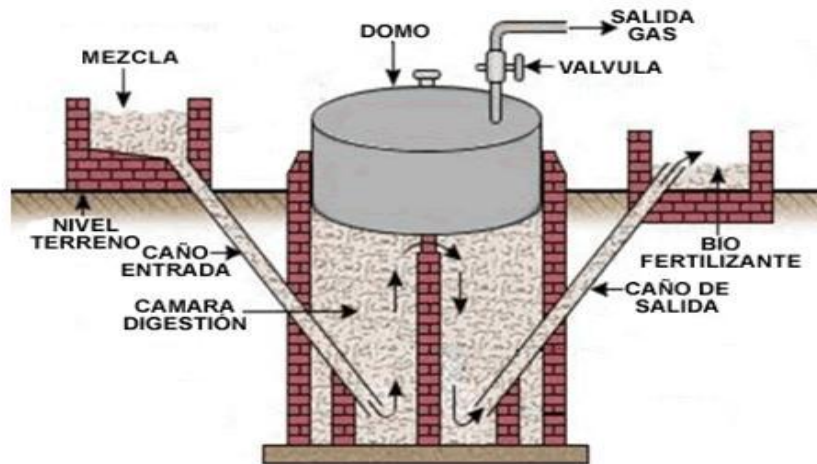
FUENTE: <http://www.energianatural.com.ar/biogas01.html>

#### 1.4.2.5. MODELO INDIANO

Estos digestores son enterrados de modo vertical, semejando a un pozo.

El método de carga es por gravedad una vez al día, con un volumen de mezcla que depende del tiempo de fermentación o retención y producen una cantidad diaria más o menos constante de biogás si se mantienen las condiciones de operación. (30) (34)

**FIGURA 3. BIODIGESTOR MODELO INDIANO**



FUENTE: <http://engquimicasantosp.blogspot.com/2012/07/biodigestores.html>

#### **1.4.2.6. BIODIGESTORES HORIZONTALES.**

Estos digestores se edifican enterrados, son cortos, profundos y alargados, semejante a un canal, con relaciones de largo a ancho de 5:1 hasta 8:1 y sección transversal circular, cuadrada o en “V”. Se operan en sistema semi continuo, ingresando la carga por un extremo del digestor y saliendo los lodos por el extremo opuesto. La cúpula puede ser rígida o de algún material flexible que no presente fugas de gas y que resista las condiciones de la intemperie. (30) (34)

#### **1.4.2.7. BIODIGESTOR CILÍNDRICO**

El biodigestor cilíndrico o esférica posee un ducto de entrada a través del cual se abastece la materia orgánica en forma conjunta con agua; y un ducto de salida en el cual el material ya digerido por acción bacteriana abandona el biodigestor. (30)

Los materiales que ingresan y abandonan el biodigestor se denominan afluente y efluente. El proceso de digestión que acontece en el interior del biodigestor libera la energía química contenida en el componente orgánico, la cual se convierte en biogás. (30) (34)

#### **1.4.2.8. BIODIGESTOR DE ESTRUCTURA FLEXIBLE**

Es un modelo de digestor donde el gas se acumula en la parte superior de la bolsa, parcialmente llena con biomasa en fermentación; la bolsa se va inflamando lentamente con una presión de operación baja, pues no se puede exceder la presión de trabajo de la misma.(6) (30)

Presenta los siguientes componentes:

##### **a. Tubo de ingreso**

Se debe usar para la admisión de desechos y debe sumergirse en los residuos al menos a 15 cm de profundidad, lo cual previene el escape del metano, es necesario utilizar un pozo para limpiar el material celulítico antes de ingresar al biodigestor, porque este puede obstruir con facilidad la entrada de este, generalmente es 20 a 30 cm de diámetro. (30) (33)

##### **b. Fermentador y bolsa de almacenamiento**

Principal componente del biodigestor. Las dimensiones del fermentador depende de la cantidad de desechos a fermentar, no debe ser muy grande, si la cantidad de desechos a tratar es elevada se puede conectar cámaras variadas mediante un tubo plástico. El sistema posee una mayor área superficial es muy eficiente, la desventaja es que puede resultar muy costoso. Es conveniente que el digestor este aislado y cuente con un dispositivo de calentamiento y de agitación. La bolsa de almacenamiento está en la parte superior del biodigestor. (30) (33)

**c. Tubo del afluyente**

Se localiza por debajo del tubo de entrada en el lado opuesto del digestor, el tubo del afluyente debe ser sumergido a 15 cm de profundidad del fermentador para prevenir el escape del gas, se debe mantener el flujo constante. Generalmente el diámetro del tubo es de 4 a 6 pulgadas de material de plástico. (30)

**d. Tubo de metano**

Se usa para transportar el biogás a su lugar de uso, el tubo posee una salida que está sumergida en agua y que drena la humedad condensada. El tubo se coloca en la parte de la bolsa de almacenamiento del metano y debe poseer 2 pulgadas de diámetro. (30) (33)

**e. Dispositivo de seguridad**

Se utiliza para prevenir la ruptura del fermentador debido a presiones altas de la fermentación anaeróbica de la materia a descomponerse. Es una botella de al menos 10 cm de profundidad insertada el tubo de salida, si la presión del digestor es mayor a la del agua, se libera el biogás. (30) (33)

**f. Tubo de limpieza**

La tubería sirve para evacuar el lodo que se sedimenta en el fondo del digestor que deben ser removido cada dos años, por mecanismos como bombeo. Se debe colocar cuando el biodigestor es muy largo de un tubo en un extremo del biodigestor y otro tubo en la mitad del mismo. (30) (33)

**g. Instalación**

Para instalar un modelo de biodigestor de polietileno, se inicia preparando un foso que debe ser un poco más grande que el biodigestor, luego se instala el biodigestor, los tubos de admisión y de afluentes. Después de 3 a 4 días se llena el foso con agua, se descargan los desechos animales, el agua que rodea el digestor puede ayudarle a expandirse completamente y disminuye la tensión que ejerce en los tubos de entrada y salida. Acatando de la época del año en la que se haga la instalación el proceso de fermentación se hace más rápido en verano y más lento en invierno. (30) (33)

#### **h. Mantenimiento**

Estos biodigestores pueden tener una durabilidad de 20 años, en el caso de mostrar rupturas de este pueden ser fácilmente reparadas del mismo material del biodigestor usando un adherente fuerte. Cuando se necesite el metano solo se ejerce una pequeña presión sobre la bolsa de almacenamiento moviendo de esta forma el biogás a donde se necesita. (30)

**FIGURA 4. BIODIGESTOR DE POLIETILENO**



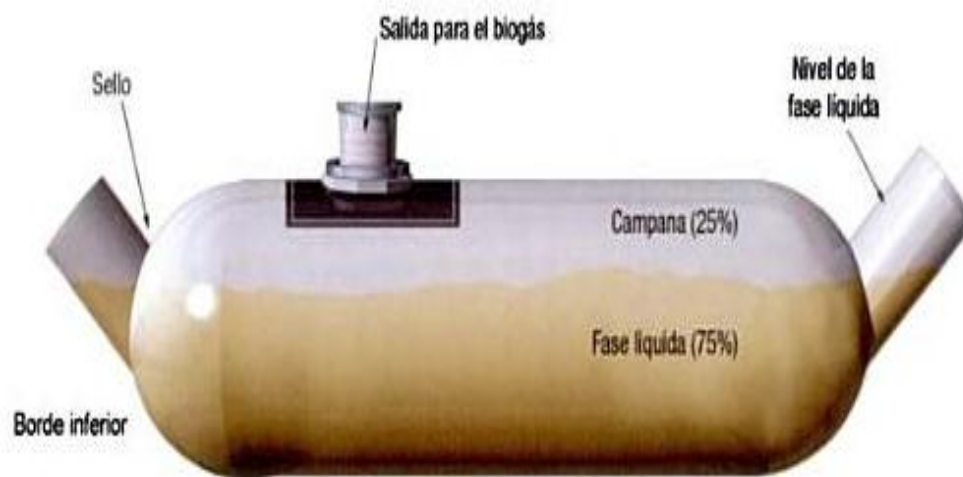
FUENTE: <http://biodigestoresflujocontinuoouruguay.blogspot.com/>

#### **1.4.2.8.1. Ventajas de los biodigestores de plástico económicos:**

Este tipo de biodigestor es muy económico y fácil de transportar, en especial en aquellos sitios de difícil acceso. Las tecnologías de los biodigestores pueden ofrecer varias ventajas a las comunidades rurales, entre ellos tenemos:

- Al ser hermético se reduce las pérdidas.
- Un descenso de la presión en los recursos naturales como combustible y carbón de leña.
- Producción de energía barata.
- Una vez que el estiércol ha atravesado un biodigestor se vuelve un fertilizante orgánico excelente, mejorando el sistema de cultivo.
- Producción de gas para cocinar. (11)

**FIGURA 5. BIODIGESTOR DE PLÁSTICO DE BAJO COSTO.**



FUENTE: <http://bio-digestores.blogspot.com/2012/06/tipos-de-biodigestores.html>

### **1.4.3. PRODUCTOS FINALES DE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA**

De la última etapa del proceso de digestión anaerobia, en sistemas de alta carga orgánica, en mezcla completa, resulta el biogás y el bioabono.

#### **1.4.3.1. BIOABONO**

Es un fertilizante orgánico que mejora el rendimiento de los suelos, y preserva el medio ambiente sus principales componentes son: Nitrógeno: 0.91 %, Potasio: 1.40%, Fósforo: 2.24%. Las características del bioabono, dependen en gran medida del tipo de tecnología y de las materias primas utilizadas para la digestión. En el proceso anaeróbico, parte de la

materia orgánica se convierte en metano. La materia orgánica de este producto se mineraliza, por lo que normalmente aumenta el contenido de nitrógeno amoniacal y disminuye el nitrógeno orgánico. (9)

### 1.4.3.2. BIOGÁS

El biogás es una mezcla gaseosa formada principalmente de metano y dióxido de carbono, pero también contiene diversas impurezas. La composición del biogás depende del material digerido y del funcionamiento del proceso. Cuando el biogás tiene un contenido de metano superior al 45% es inflamable. (18) (29)

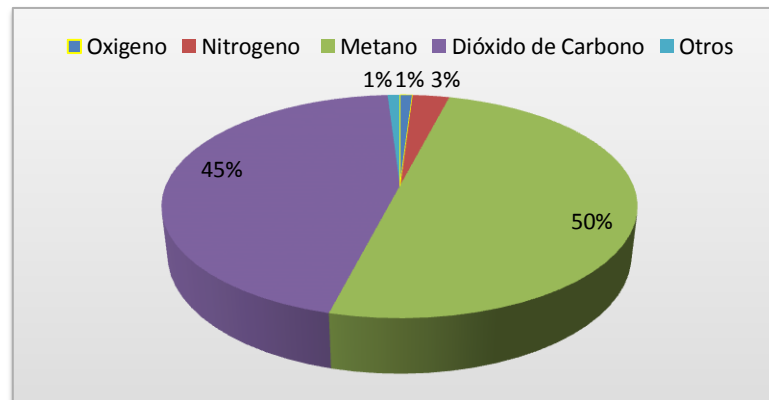
**TABLA 3. PRINCIPALES GASES.**

<b>Metano, CH<sub>4</sub></b>	<b>40 - 70% volumen</b>
Dióxido de carbono, CO <sub>2</sub>	30 – 60
Sulfuro de hidrógeno, H <sub>2</sub> S	0 – 3
Hidrógeno, H <sub>2</sub>	0 – 1

FUENTE: WERNER ET AL 1989

Los principales componentes del biogás son el metano (CH<sub>4</sub>) y el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). El metano, es el gas que le confiere las características combustibles. Aunque la composición del biogás varía de acuerdo a la biomasa utilizada, su composición aproximada se presenta en la tabla tres. (20)

**GRAFICO 6. COMPOSICIÓN DEL BIOGÁS**



FUENTE: FANNY PACA

El biogás es un gas combustible que se genera en medios naturales o por medio de mecanismos específicos, por las reacciones de biodegradación de la materia orgánica, por la acción de microorganismos como son las bacterias metanogénicas y otros factores, en un ambiente anaeróbico. Cuando la materia orgánica se descompone en ausencia de oxígeno, actúan las bacterias metanogénicas generando biogás. (25)

#### 1.4.3.2.1. EL BIOGÁS COMO COMBUSTIBLE

El metano, principal componente del biogás es el gas que le confiere las características combustibles, dado que su poder calorífico P.C.I. biogás (50% CH<sub>4</sub>)=4.290 kcal. (28)

**TABLA 4. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL BIOGÁS.**

Contenido energético	6,0-6,5 KW hm <sup>-3</sup>
Equivalente de combustible	0,60-0,65L petróleo/m <sup>3</sup> biogás
Límite de explosión	6-12 % de biogás en el aire
Temperatura de ignición	650-750 °C (contenido de CH <sub>4</sub> )
Presión crítica	74-88 at
Temperatura crítica	-82,5 °C
Densidad normal	1,2 kg m <sup>-3</sup>
Olor	Huevo podrido (el olor del biogás desulfurado es imperceptible)
Masa molar	16,043 kg kmol <sup>-1</sup>

FUENTE: DEUBLEIN Y STEINHAUSER, 2008

La utilización de gas y consumos para algunos gasodomésticos típicos se presentan en la siguiente tabla.

**TABLA 5. UTILIZACIÓN Y CONSUMO DE BIOGÁS**

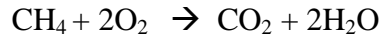
<b>EQUIPO</b>	<b>CONSUMO DE BIOGÁS EN m<sup>3</sup>/hora</b>
Estufa de cocina	0,150-0,200
Fogón para cocinar alimentos o frutas	0,300
Lámpara de gas equivalente a una bombilla de 60 W	0,100
Calentadores para lechones	0,250
Motor biogás- diésel por b.h.p	0,420
Producción de KWh de corriente eléctrica con una mezcla de biogás-diésel	0,700

FUENTE: DIFUSIÓN DE LA TECNOLOGÍA DEL BIOGÁS EN COLOMBIA, GTZ, 1987



#### **1.4.3.2.2. PRINCIPIOS DE LA COMBUSTIÓN**

La combustión es una reacción química en la cual ocurre una rápida oxigenación/oxidación del biogás. La combustión completa puede ser representada por la siguiente ecuación química:



El requerimiento de aire mínimo sería del 21% pero esta cifra debe ser aumentada para lograr una buena combustión. La relación aire-gas puede ser optimizada aumentando la presión del aire, aumentando la apertura de la válvula dosificadora de gas el biogás requiere de una apertura de 2 a 3 veces mayor a la utilizada por el metano puro y modificando la geometría del paso de aire desde el exterior. La presión adecuada para un óptimo uso del biogás oscila entre los 7 y los 20 mbar. Para lo cual se debe calcular las pérdidas de presión de salida del gasómetro, añadiendo contrapesos en el caso de gasómetros flotantes. (18)

#### **1.4.3.2.3. USOS DEL BIOGÁS**

Por el gran problema que generan los purines, las aplicaciones en las granjas de ganado bovino y porcino de gran tamaño o como planta regional de gestión de residuos en zonas de alta concentración de ganado estabulado. Proyectando una planta de digestión anaerobia de producción de biogás como auto abastecimiento energético según las necesidades. (35)

En la siguiente tabla se detallan los primordiales artefactos que utilizan biogás juntamente a su consumo medio y su eficiencia.

**TABLA 6. APLICACIONES DEL BIOGÁS**

<b>ARTEFACTO</b>	<b>CONSUMO</b>	<b>RENDIMIENTO (%)</b>
Quemador de cocina	300 - 600 l/h	50 – 60
Lámpara a mantilla (60W)	120 - 170 l/h	30 – 50
Heladera de 100 L	-30 - 75 l/h	20 – 30
Motor a gas	0,5 m <sup>3</sup> /kWh o Hph	25 – 30
Quemador de 10 Kw	2 m <sup>3</sup> /h	80 – 90
Infrarrojo de 200 W	30 L/h	95 – 99
Co generador	1 kW elect. 0,5 m <sup>3</sup> /kwh 2kW térmica	hasta 90

FUENTE: <http://www.textoscientificos.com/energia/biogas/ usos>

Las aplicaciones más notorias del biogás son como fuente de energía. El biogás producido en procesos de digestión anaerobia puede tener diferentes usos:

- En una caldera para generación de calor o electricidad.
- En motores o turbinas para generar electricidad.
- En pilas de combustible, previa realización de una limpieza de ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S) y otros contaminantes de las membranas.
- Purificarlo y añadir los aditivos necesarios para introducirlo en una red de transporte de gas natural.
- Como material base para la síntesis de productos de elevado valor añadido como es el metanol o el gas natural licuado.
- Combustible de automoción. (13)

#### **1.4.3.2.4. Ventajas del uso de biodigestores como técnica de reciclaje**

Son muchos los beneficios que se obtienen al utilizar los biodigestores.

- Proporcionan combustible (biogás) para suplir las necesidades energéticas rurales, incrementando la producción de energía renovable (calor, luz, electricidad) y de bajo costo.
- Reducen la contaminación ambiental al convertir en residuos útiles las excretas de origen animal, de las fuentes de agua, aumentando la protección del suelo, de la pureza

del aire y del bosque. Las excretas contienen microorganismos patógenos, huevos, larvas que podrían convertirse en plagas y enfermedades para las plantas cultivadas.

- Se obtiene bioabono con un contenido mineral similar al de las excretas frescas, más bien de mejor calidad nutricional para las plantas. Mediante la utilización del efluente como bioabono se reduce el uso de fertilizantes químicos, cuya aplicación tiene consecuencias negativas para el medio ambiente global y local.
- A través de la reducción de patógenos, huevos de gusanos y moscas, los que mueren durante el proceso de biodigestión, mejora las condiciones higiénicas de la casa rural
- Contribuyen a reducir la deforestación por el menor uso de leña con fines energéticos.
- Genera beneficios microeconómicos mediante la sustitución de energía no renovable y fertilizantes sintéticos por energía renovable y fertilizantes orgánicos. Además hay un aumento en los ingresos debido al incremento de la productividad y producción agrícola y pecuaria. (30) (36)

#### **1.4.4. DIMENSIONAMIENTO**

El diseño de una planta de biogás dependerá de la cantidad y del tipo de residuos disponibles en el medio rural, de las condiciones de clima, necesidades de biogás que se requiere, ubicación, materiales y técnicas de construcción de que se dispone en cada sitio. Con el objeto de minimizar los costos de la planta, esta deberá ser adecuada a cada necesidad construida hasta donde sea posible con materiales y mano de obra locales. Antes de proceder al diseño de una planta de biogás para el medio rural, es necesario estimar el potencial de producción de biogás, para definir su factibilidad considerando la forma de manejo del ganado y por lo tanto cual es la cantidad mínima de residuos que permita producir el biogás requerido para cubrir las necesidades planteadas. (10)

##### **1.4.4.1. Cálculos de diseño**

Con el potencial de residuos producidos por animal y su peso vivo promedio, puede estimarse la cantidad de desechos orgánicos producidos diariamente y los requerimientos

de adición de agua para mezcla y homogenización. Cuando no es posible obtener datos exactos sobre esta en kg/día, puede estimarse utilizando la siguiente tabla. (14)

**TABLA 7. VALORES Y CARACTERISTICAS DEL ESTIERCOL DE ALGUNOS ANIMALES**

Clase de animal	% por peso vivo		% del material de digestión		Relación C/N	P- Producción de biogás (m <sup>3</sup> de gas/1k SO)
	PE- Estiércol	PO- Orina	% EST Sólidos	% SO sólidos orgánicos		
Vacunos	5	4	15-16	13	20	0,250
Cerdos	2	3	16	12	13	0,350
Caprinos, ovejás	3	1,5	30	20	30	0,200
Caballos	5	4	25	15	20	0,250
Avícolas, gallinas	4,5	4,5	25	17	5-8	0,400
Humanos	1	2	20	15	8	0,300

FUENTE: DIFUSIÓN DE LA TECNOLOGÍA DEL BIOGÁS EN COLOMBIA, GTZ, 1987

#### 1.4.4.2. Localización y diseño del biodigestor

Para determinar el lugar apropiado para la construcción del biodigestor, se deben tomar en cuenta ciertos factores:

- La accesibilidad de la materia prima y agua requerida suficiente para efectuar la carga diaria en el caso de digestores semicontinuo.
- Cercanía del lugar de uso del biogás.
- Disposición para el uso del bioabono o su almacenamiento en caso de ser necesario.
- Topografía del lugar, característica del suelo y niveles de las aguas subterráneas. (31)

#### 1.5. MATRIZ CAUSA EFECTOS

Consisten en una tabla de doble entrada, la primera columna se indica las actividades o acciones del proyecto y en cada una de las otras columnas se indica los factores ambientales que pueden ser afectados por la acción respectiva.

La intersección de una fila de la primera columna (acciones) con una de las otras columnas (factores ambientales), se puede indicar, las siguientes características cualitativas de un impacto ambiental.

Los factores ambientales que se consideran en la Matriz causa-efecto son:

- Factores Físicos: Aire (calidad), suelo (uso y calidad), agua (cantidad y calidad).
- Factores Biológicos: Flora y Fauna (número de especies diferentes, de cada especie y en algún estado de peligro).
- Factores Preceptuales: Paisaje (calidad, visibilidad, fragilidad), Socio-Económicos (nivel), Histórico - Culturales (Existencia de Monumentos Nacionales, Zonas Protegidas, característica cultural específica). (22)

#### **1.5.1. Nomenclatura a Utilizar**

Se valora los 9 criterios de evaluación que se indica a continuación:

- Naturaleza
- Magnitud
- Importancia
- Reversibilidad
- Duración
- Certeza
- Tipo
- Tiempo en aparecer
- Considerando en el proyecto. (27)

#### **1.5.2. LA VALORACIÓN DE LOS CRITERIOS ES LA SIGUIENTE:**

**La naturaleza** del impacto puede ser:

- (+) Positivo
- (-) Negativo

(N) Neutro, si el impacto no causa efecto significativo en la componente.

(X) Previsible, pero difícil de cuantificar sin estudios anteriores. (27)

**La Certeza** del impacto puede ser:

(C) Cierto, impacto ocurrirá con una probabilidad  $> 75\%$

(P) Probable, impacto ocurrirá con una probabilidad entre 50% y 75%.

Improbable, impacto ocurrirá con una probabilidad menor que el 50%.

(D) Desconocido (se requiere de estudios específicos para evaluar la certeza del impacto).(27)

**El Tipo** de impacto puede ser:

(Pr) Primario, el impacto es secuencia directa de la construcción del proyecto o de su operación.

(Sc) Secundario, el impacto es consecuencia indirecta de la construcción u operación del proyecto.

(Ac) Acumulativo, impactos individuales repetitivos dan lugar a otros de mayor impacto.(27)

**El Tiempo en aparecer** se utiliza:

(C) Corto plazo, el tiempo en aparecer es inmediatamente o dentro de los seis meses posteriores a la implementación del proyecto.

(M) Mediano plazo, el tiempo en aparecer esta entre 6 meses y cinco años después de la implementación del proyecto.

(L) Largo plazo, se manifiesta 5 o más años después de la implementación del proyecto.  
(27)

Si el impacto ha sido **considerado en el diseño** y operación del proyecto, se utiliza:

(S) Si. El impacto ha sido considerado en el proyecto.

(N) No. El impacto no ha sido considerado en el proyecto.

### 1.5.3. CRITERIOS CUANTIFICABLES

**Magnitud.-** Relacionada con la Intensidad y Área:

- Baja intensidad, el área afectada es inferior a 1 ha o no afecta significativamente la línea base
- Moderada intensidad, el área afectada comprende entre 1 y 10 ha pero puede ser atenuada hasta niveles insignificantes.
- Alta intensidad, el área afectada por el impacto es mayor de 10 ha. (27)

**Importancia:** Se considera

Sin importancia.

Menor importancia.

Moderada importancia.

Importante. (27)

**Reversibilidad:** Se utiliza

Reversible

No reversible. (27)

**Duración:** Se valora con:

Corto plazo.- El impacto permanece menos de 1 año.

Mediano plazo.- El impacto permanece entre 1 y 10 años.

Largo plazo.- El impacto permanece por más de 10 años. (27)

**TABLA 8. PROCEDIMIENTO DE PONDERACIÓN DE LOS CRITERIOS DE EVALUACION.**

CRITERIOS DE EVALUACIÓN									
Naturaleza	Magnitud	Importancia	Certeza	Tipo	Reversibilidad	Duración	Tiempo en aparecer	Considerado en proyecto	Ponderación
(-)	2	2	C	Ac	1	2	C	N	7
$2*2+1+2=7$									

FUENTE:<http://prezi.com/1-c9bwgzlyyi/estudio-de-impacto-ambiental-biotecnologia-ambiental/>

#### **1.5.4. CUANTIFICACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES**

Una vez identificados y descritos los impactos ambientales se precede a su evaluación, mediante la elaboración de una matriz de cuantificación de impactos ambientales. La primera columna se relaciona todas las componentes ambientales estudiadas, la siguiente columna indica las actividades evaluadas en el proyecto, se colocan en las casillas de las actividades. Los valores de la ponderación de los impactos, con los correspondientes signos según la naturaleza (+,-), uno y otro criterios se obtienen de la matriz de identificación.

A esta matriz se le incrementa tres filas más, debajo de las componentes ambientales, para sumar de forma independiente los valores positivos y negativos totales por cada una de las acciones evaluadas. Se agregan tres columnas a la derecha de las actividades para la suma, de forma independiente de los valores positivos y negativos totales por cada una de las componentes ambientales. Las cuadrículas situadas en la diagonal del polígono que se forma en la parte inferior derecha de la matriz se utilizan para la suma los totales positivos, negativos totales de las acciones que están a la izquierda con los totales positivos y negativos totales de las componentes ambientales situados en la parte superior.

El valor obtenido independiente de la columna arriba, debe coincidir con el valor obtenido en la fila a la izquierda, por lo que el valor de la casilla de la diagonal es el doble de los valores independientes. (27)



## CAPITULO II

### 2. PARTE EXPERIMENTAL

#### 2.1. LUGAR DE INVESTIGACIÓN

La investigación se llevó a cabo en la región Sierra, provincia de Chimborazo, cantón Riobamba, parroquia San Juan, comunidad Shobol Llin llin, desmembrando la hacienda Shobol, en la granja Quilotuña.

##### 2.1.1. Área de influencia directa:

La granja Quilotuña se encuentra ubicada en la zona media, en la latitud 1°36'53" S, longitud de 78°47'58" O, y 3227 m.s.n.m. de altitud. Posee una temperatura de 12 °C a 16 °C. Sus límites son:

- Norte: Acequia y camino público.
- Sur: Quebrada y camino público.
- Este: Camino público.
- Oeste: Zanja y alambrada de púas que separa terrenos de varios propietarios. (Ver anexo 1)

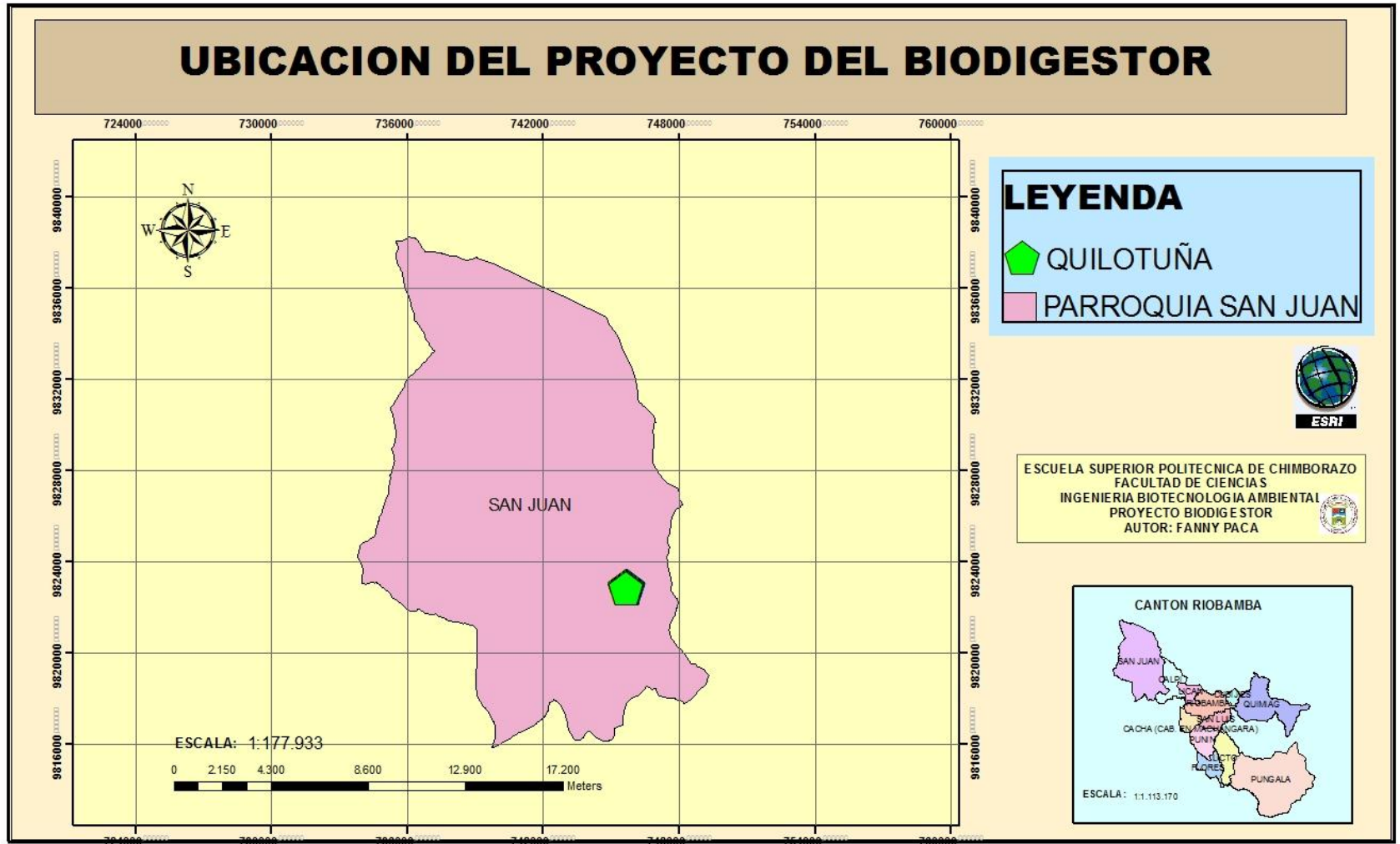
##### 2.1.2. Área de influencia indirecta:

Corresponde a los demás sectores de la comunidad: Cordillera de los andes, Sector de las minas, Chaca Huayco, Capilla Loma, Guantuj Pamba, Shobol Centro. (Ver anexo 2)

Límites Comunales:

- Norte: Comunidad Guabug.
- Sur: Cerro Iglesia Rumi.
- Este: Shobol Pamba.
- Oeste: Campamento de la Cemento Chimborazo.

FIGURA 6. UBICACIÓN PROYECTO BIODIGESTOR



FUENTE: FANNY PACA

Como propiedad existen 17 cabezas de ganado bovino y 2.75 hectárea de terreno. (Ver Anexo 1)

## **2.2. METODOLOGÍA**

Para la ejecución del proyecto tenemos:

- Levantamiento de la Línea Base Ambiental.
- Cuantificación de la carga diaria del estiércol disponible en la granja "Quilotuña".
- Muestreo y caracterización del estiércol vacuno.
- Topografía del lugar y localización (GPS).
- Dimensionado del biodigestor y elaboración de planos.

## **2.3. LEVANTAMIENTO DE LA LÍNEA BASE AMBIENTAL.**

La metodología utilizada para efectuar el levantamiento de la línea base ambiental, el mismo que sirvió para la recopilación de datos de la granja "Quilotuña" consta en lo siguiente:

- a) Visitas de campo in situ, la metodología realizada para este estudio consistió en realizar un recorrido por el área de influencia directa previamente establecido. En este se ejecutó la observación y registro de las especies de flora y fauna, la existencia de las diversas especies se evidencia con fotografías.
- b) Respecto a la capacidad de caga animal, esta metodología se aplicó en la zona de potreros, para estimar el número de especies que pueden ser pastoreadas sin producir alteraciones a la zona de estudio y a la vez proponer opciones de manejo adecuado del pastoreo. Se comenzó observando con detenimiento todo el pastizal y se evaluó si la producción de forraje era homogéneo en todo el área, después se procedió a trazar una diagonal a lo largo del potrero con el fin de obtener un muestreo representativo y se refleje el volumen total del potrero. (Ver anexo 3) Se tomaron 4 muestras con

cuadrantes de 0,5 m x 0,5 m (0,25m<sup>2</sup>), cortando solo las especies vegetales que están dentro del cuadrante. (Ver anexo 3)

Para el cálculo de la capacidad de carga se utilizó las siguientes formulas:

$$A = \frac{B}{C}$$

A: Producción por cuadrante (kg/m<sup>2</sup>).

B: Peso total del pasto cortado en los cuadrados (kg).

C: Numero de cuadros usados (m<sup>2</sup>).

$$D = E * A$$

D: Producción total del potrero (kg).

E: Área del potrero (m<sup>2</sup>).

$$G = \frac{D * H}{100}$$

G: Pasto perdido por pisoteo (kg).

H: Porcentaje estimado de pérdida por pisoteo (%).

$$J = D - G$$

J: Pasto aprovechable (kg).

$$L = M * N$$

L: Total de U.G.G. del lote. (U.A.)

M: U.G.G. por animal

N: Número de animales (U.A.).

$$O = 45kg * L$$

O: Consumo diario del lote (kg/día).

$$H = \frac{J}{O}$$

H: Período de permanencia (días)

J: Pasto aprovechable (kg).

$$Q = O * P$$

Q: Consumo del lote durante todo el período de rotación (kg).

O: Consumo diario del lote (kg).

P: Período de rotación (días).

$$R = \frac{Q}{K}$$

R: Área de pastoreo para el lote (ha).

K: Pasto aprovechable por hectárea (kg/ha)

$$S = \frac{L}{R}$$

S: Capacidad de carga (U.A./ha)

L: Total de U.A.

R: Área de pastoreo para el lote (ha)

- c) En lo referente a indicadores económicos y socioeconómicos, se lo realizó mediante la información obtenida último Censo Nacional de Población y Vivienda del año 2010.
- d) Las fuentes de información a la cual se recurrió para efectuar la caracterización de los componentes ambientales, fueron las siguientes:
- Indicadores climatológicos y meteorológicos de INAMHI. Las estaciones más cercanas al área de influencia directa como son la estación agrometeorológica de la Facultad de Recursos Naturales y la estación meteorológica Synphonie Data Retriever de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH.
  - Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la parroquia San Juan, Diciembre 2011, información proporcionada por el gobierno parroquial.
- e) La línea base ambiental se estudió, para la valoración e identificación de impactos ambientales el mismo que se evaluó mediante la matriz causa-efecto, que se explica detalladamente en el numeral 1.5 del Capítulo I de este documento.

### **2.3.1. Materiales**

- Cámara fotográfica.
- Libreta de notas.
- Bolígrafo.

### **2.3.2. Equipos**

- GPS.
- Cámara fotográfica.

## **2.4. CUANTIFICACIÓN DE LA CARGA DIARIA DEL ESTIÉRCOL.**

La carga diaria del estiércol disponible en la granja Quilotuña, se consideró los diecisiete ganados de la granja, en ese período se alimentan con pasto azul, la cuantificación del estiércol se determinó diariamente en la mañana y en la tarde cuando regresan del pastoreo al corral. (Ver anexo 6)

La materia prima se recogió durante 7 días de la semana de Agosto del 2013, utilizando un balde graduado de 11 litros, con la ayuda de una pala, para la medición de la muestra de estiércol se utilizó una balanza de muelle con una altura de 26 cm, que pesa hasta 50 kg. (Ver Anexo 6)

### **2.4.1. Materiales**

- 1 Pala manual
- 1 Balde graduado de 11 litros.
- Guantes de nitrilo.
- Mandil.
- Mascarilla.

- Botas de caucho.
- 1 Balanza de mulle de 26 cm, pesa hasta 50 kg.
- Balanza.
- Libreta de notas. (Ver anexo 5)

## **2.5. MUESTREO Y CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA**

### **2.5.1. METODOLOGÍA PARA EL MUESTREO**

Se recogió muestras compuestas, en distintos sitios representativos del corral, con el fin de asegurar resultados precisos de los parámetros físicos-químicos del estiércol. Las muestras fueron recogidas en frascos estériles de 100 mL. En el momento que se realizó el muestreo las vacas se alimentaban de pasto azul. El proceso de recogido se efectuó en la mañana, con una temperatura de 12 °C. (Ver anexo 9)

#### **2.5.1.1. Materiales**

Los materiales utilizados para el muestreo en el campo son:

- Guantes de nitrilo.
- 1 Pala de jardinería.
- 1 Termómetro.
- 6 Frascos estériles.
- 1 Marcador de tinta permanente para identificar las muestras.

### **2.5.2. METODOLOGÍA PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL ESTIÉRCOL**

Con el fin de conocer la cantidad exacta de sólidos totales que se encuentra en el estiércol, se realizó un ensayo de las muestras, aplicando el método de dilución, que posteriormente fueron analizados en el Laboratorio de Análisis Técnico de la Facultad de Ciencias de la

ESPOCH. La dilución se realizó en una relación 1:3. Es decir se pesó 1 kg de estiércol fresco y se disolvió en 3 litros de agua. (Ver anexo 7) Suponiendo que tiene un 20% de sólidos totales y se quiere diluir esta carga a un 5% de sólidos totales, se realizó el siguiente cálculo para saber cuánto de agua se debe agregar por un kilogramo de excreta fresca.

$$\% ST(carga diluida) = \frac{1kg\ excreta * \% ST\ excreta\ fresca}{1kg\ excreta\ fresca + agua\ agregada}$$

$$0.05 = \frac{1kg\ excreta * 0,20}{1kg\ excreta\ fresca + WH2O}$$

$$0.05 + 0,05\ WH2O = 0,20$$

$$WH2O = \frac{0,15}{0,05} = 3 \frac{L}{kg} excreta\ fresca$$

### 2.5.2.1. Materiales

- 1 Balde graduado de 11 litros.
- Una varilla agitadora para mezclar.
- Una jarra de 3 litros.

### 2.5.3. DETERMINACIONES IN-SITU

#### 2.5.3.1. Determinación de pH

Para realizar las medidas del pH se utilizó el método de papel indicador de pH, que varían reversiblemente de color en función del pH del medio en que están disueltas. Se añade directamente a la disolución para obtener la medida de pH de la muestra. (Ver anexo 8)



#### **2.5.3.1.1. Materiales**

- Vaso de precipitación.
- Varilla de agitación.
- Tiras de papel indicadoras de pH.

#### **2.5.3.1.2. Procedimiento**

- Tomar la dilución homogenizada en un vaso precipitado.
- Introducir en la disolución el papel indicador de pH.
- Esperar de 10 a 15 segundos.
- Se procede a comparar el color que se obtiene con la escala de colores de la tira indicadora de pH. (Ver anexo 8)

#### **2.5.3.2. Determinación de la temperatura**

Los procesos anaeróbicos, son fuertemente dependientes de la temperatura. A medida que aumenta la temperatura, aumenta la velocidad de crecimiento de los microorganismos y se acelera el proceso de digestión, dando lugar a mayor producción de biogás.

#### **2.5.3.2.1. Materiales**

- Termómetro

#### **2.5.3.2.2. Procedimiento**

La medición de la temperatura del estiércol en el campo, se realizó con el método de los termómetros. Se utilizó termómetro manual de mercurio de punta redondeada, el cual se introdujo directamente en el estiércol bovino. (Ver anexo 8)

#### 2.5.4. DETERMINACIONES EX-SITU

Algunos parámetros se determinaron con el método empleado en el laboratorio de Análisis Técnico de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH. (Ver anexo 15)

**TABLA 9. MÉTODO EMPLEADO PARA EL ANÁLISIS FÍSICOS-QUÍMICOS DEL ESTIÉRCOL VACUNO.**

<b>Se empleó Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 Edición</b>		
<b>Parámetro</b>	<b>Unidades</b>	<b>Método</b>
Sulfuros	mg/L	4500-S-E
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	5220-C
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	5210-B
Sólidos en Suspensión	mg/L	2540-D
Sólidos Volátiles	mg/L	2540-C
Sólidos Totales	mg/L	2540-B
Humedad	%	Gravimétricos
Ceniza	%	Gravimétricos

FUENTE: LABORATORIO DE ANÁLISIS TÉCNICO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA ESPOCH.

#### 2.6. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO DEL LUGAR

Para el levantamiento topográfico nos ubicamos en la zona de estudio donde se prevé que se construirá el biodigestor. (Ver anexo 11)

Para el uso del GPS primero debemos tener en cuenta ciertas consideraciones:

- Alineación de satélites
- Se camina con el GPS fijo por todo el área para sacar altimetría
- Se descargan los datos del GPS y se traslada a AutoCAD para realizar la planimetría.

##### 2.6.1. Materiales

- Libreta de notas.
- Bolígrafo.

### **2.6.2. Equipos**

- Una computadora.
- GPS.
- Cámara fotográfica.

## **2.7. DIMENSIONAMIENTO DEL BIODIGESTOR DE BOLSA FLEXIBLE Y ELABORACIÓN DE PLANOS.**

Para el dimensionamiento se tomará en cuenta el número total de ganado vacuno con la que cuenta la granja “Quilotuña” y la cantidad exacta de materia prima que se dispone.

### **2.7.1. Materiales**

- Computadora con programa de diseño AutoCAD 2012.

### **2.7.2. Procedimiento**

El factor primordiales a tomar en cuenta para el dimensionamiento del biodigestor de este proyecto será estableciendo la cantidad exacta de la materia orgánica, que se va procesar a partir de ellas realizar los respectivos cálculos para obtener el tamaño adecuado del biodigestor. Posteriormente para el dimensionamiento se tomará en cuenta el programa de diseño y documentación AutoCAD 2012.

La metodología del cálculo del biodigestor comprende lo siguiente:

- Cantidad de estiércol disponible (Kg/día)
- Cálculos de mezcla cantidad de estiércol + agua.
- Cálculos de tiempo de retención hidráulica.
- Cálculos de volumen total del biodigestor.

- Cálculos de volumen líquido del biodigestor.
- Cálculos de volumen gaseoso del biodigestor.
- Cálculos de la zanja del biodigestor.
- Cálculos de la longitud del biodigestor.
- Cálculo del tanque de mezcla.

## CAPÍTULO III

### 3. CÁLCULOS, RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. DIAGNÓSTICO AMBIENTAL

##### 3.1.1. MEDIO FÍSICO

Los datos climatológicos son adquiridos de la Estación Meteorológica Synphonie Data Retriever, la misma que se encuentra ubicada en la Provincia de Chimborazo, en la ciudad de Riobamba, a pocos metros de la facultad de Ciencias de la ESPOCH. Estación más cercana al área de estudio con antecedentes climáticos de media década. (Ver anexo 13)

Los datos de mayor interés para la investigación de los biodigestores es la temperatura.

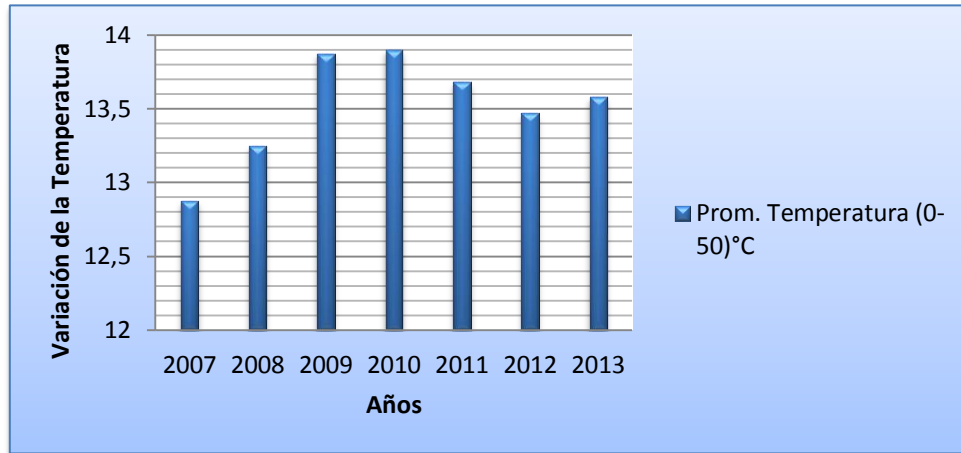
**TABLA 10. DATOS DE TEMPERATURA PROMEDIO POR AÑO**

<b>Año</b>	<b>Promedio temperatura °C</b>
2007	12,87
2008	13,24
2009	13,87
2010	13,89
2011	13,68
2012	13,46
2013	13,57
<b>Total Promedio</b>	<b>13,58</b>

FUENTE: FANNY PACA

Se ultima entonces que cada año la temperatura varía de 0.2 a 0.4 °C

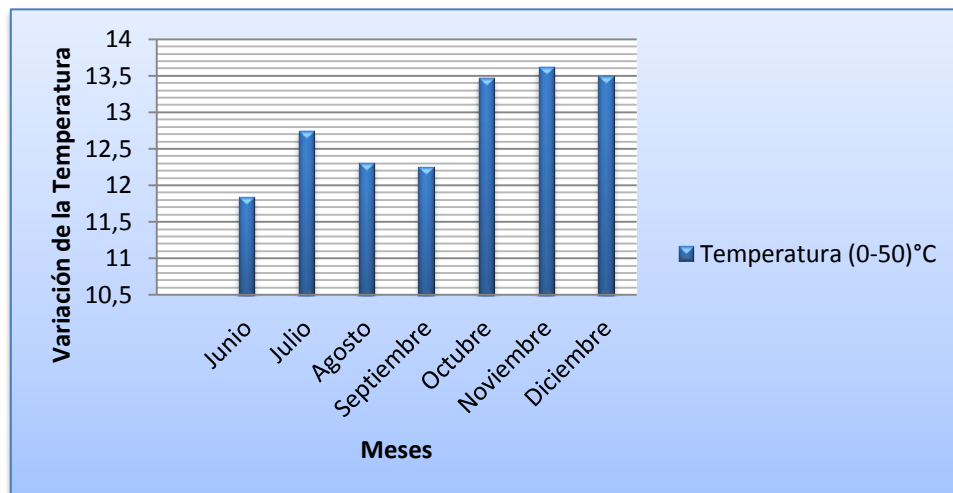
**GRÁFICA 7. VARIACIÓN DE LA TEMPERATURA POR AÑO**



FUENTE: FANNY PACA

La temperatura en el año 2007, inicia con 11 °C en el mes de Junio, incrementa 1°C los siguientes 3 meses, llegando hasta una temperatura de 12,7 °C. Los últimos 3 meses siguientes incrementa 1°C, llegando registrase una temperatura máxima de 13,6 °C. El viento más fuerte a diferentes alturas sobre la superficie de la tierra registra en los meses de Julio. La presión atmosférica varia en décimas, llegando a una presión máxima en el mes de Julio. Registra mayor precipitación en Octubre, el resto de los meses hay una disminución de lluvias. Refleja una mayor radiación solar en el mes de Julio y mayor % de humedad en Junio.

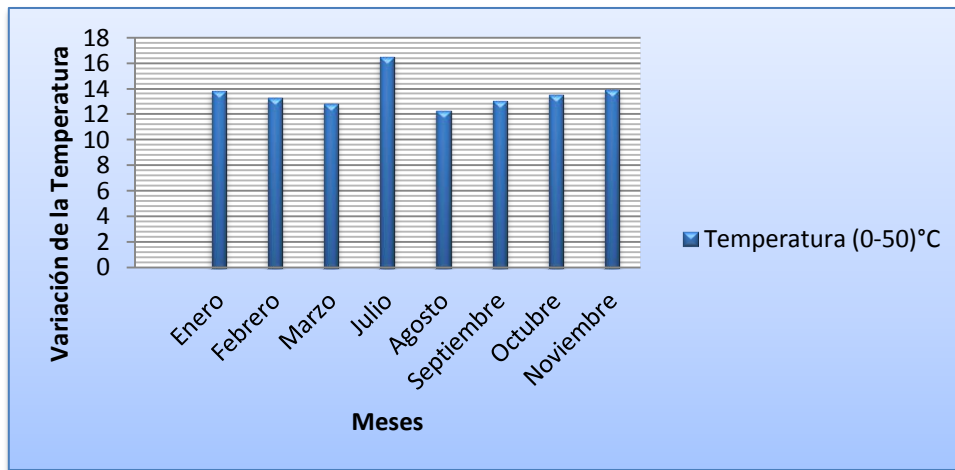
**GRÁFICA 8. VARIACIÓN DE LA TEMPERATURA AÑO 2007**



FUENTE: FANNY PACA

En el año 2008 la temperatura permanece constante hasta los meses de Febrero, asciende 1 °C en el mes de Marzo, llegando a una temperatura máxima de 16,5 °C en el mes de Julio, desciende 1°C en los siguientes 4 meses. Se halla mayor velocidad de viento en Julio. La presión atmosférica varía en décimas, registrando un valor máximo de presión atmosférica en el mes de Septiembre. Se tiene precipitación todos los meses del año hasta Noviembre, con un valor máximo de precipitación registrada en el mes de Enero. La mayor radiación solar registrada es en Julio. La mayor variación de humedad registra en Marzo.

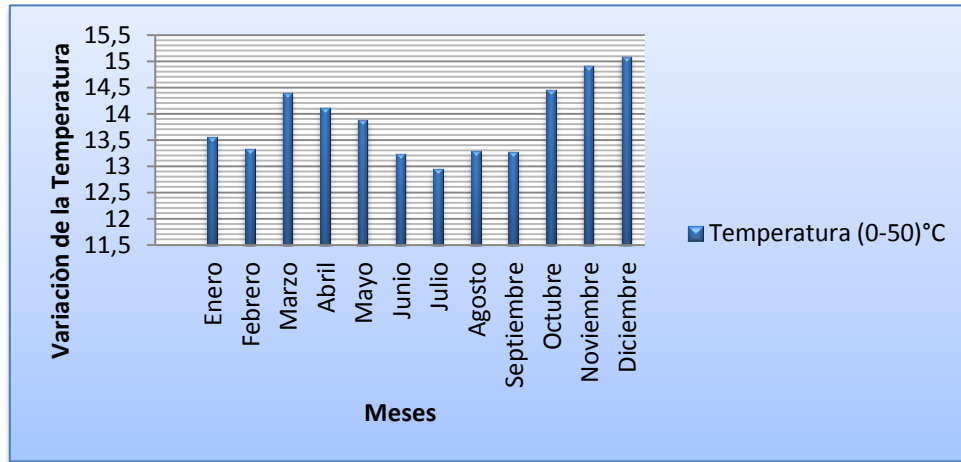
**GRÁFICA 9. VARIACIÓN DE LA TEMPERATURA AÑO 2008**



FUENTE: FANNY PACA

Las temperaturas en el año 2009 alcanzan a 15 °C, inicia el año con 13 °C hasta Febrero, ascienden 1 °C en los siguientes dos meses. Desciende 1°C los siguientes tres meses, permaneciendo con 14°C Octubre-Noviembre, incrementando 1°C el último mes. Los valores máximos de viento a diferentes alturas, registra en septiembre. La presión varía con décimas, llegando a obtener un valor máxima de presión atmosférica 768,44 en el mes de Junio. Se tiene lluvia desde Enero-Julio, Agosto-Septiembre no se registra lluvia, volviendo las lluvias los siguientes tres meses. La mayor radiación solar marcada es en el mes de Septiembre y un máximo valor de humedad en el mes de Enero.

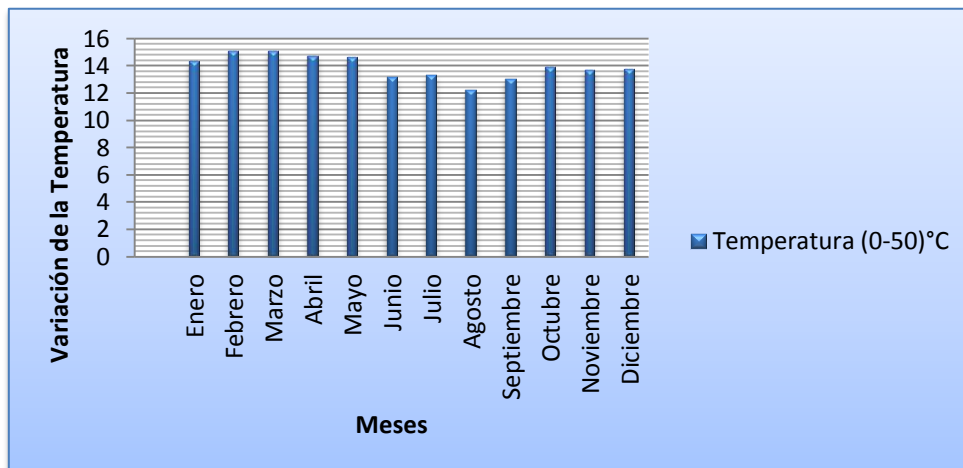
**GRÁFICA 10. VARIACIÓN DE LA TEMPERATURA AÑO 2009**



FUENTE: FANNY PACA

En el año 2010 la temperatura inicia con 14°C, los siguientes dos meses asciende 1°C. Abril-Mayo desciende 1°C y vuelve a descender otro centígrado en los meses Junio-Agosto, a partir de Septiembre-Diciembre la temperatura permanece constante con 13 °C. Al inicio del año coincidencia en vientos fuertes en sus diferentes alturas de la superficie de la tierra. En cuanto a la presión atmosférica llega a su valor máximo en Junio. Inicia con lluvias a partir de Febrero-Diciembre, registrándose un valor máximo en el mes de Noviembre. El valor más alto de radiación solar es en el mes de Octubre y mayor porcentaje de humedad marca en Abril.

**GRÁFICA 11. VARIACIÓN DE LA TEMPERATURA AÑO 2010**

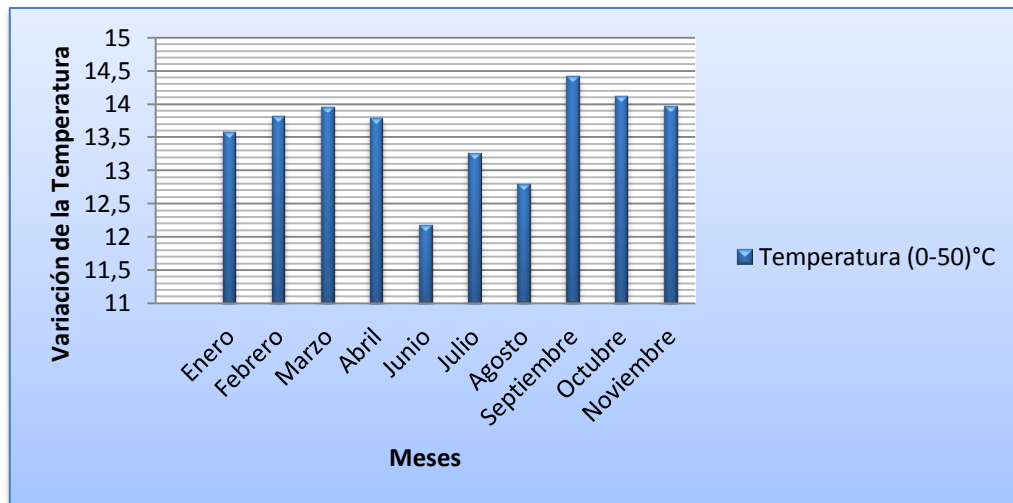


FUENTE: FANNY PACA



Año 2011, las temperaturas iniciales son de 13°C incrementando décimas cada mes hasta Abril. Disminuye 1°C el siguiente mes. Vuelve a la temperatura inicial en Junio, en los últimos meses tiende a incrementar 1°C y finaliza con la temperatura con la que inició. Inicia con fuertes vientos en el mes de Agosto, con un valor máximo de presión atmosférica en el mes de Septiembre. La precipitación registra todo el año, el mayor registro es en el mes de Noviembre. La mayor radiación solar registrada es en Agosto y un valor máximo de humedad en Abril.

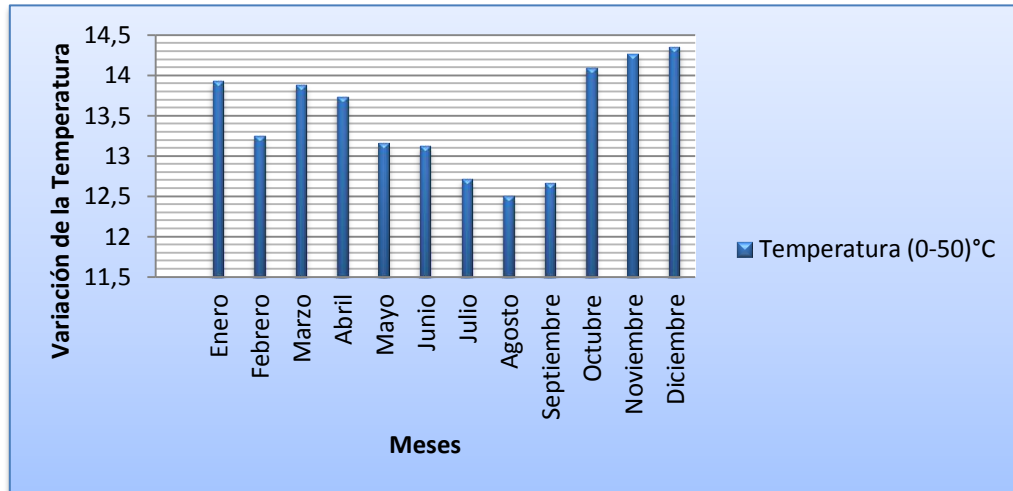
GRÁFICA 12. VARIACIÓN DE LA TEMPERATURA AÑO 2011



FUENTE: FANNY PACA

El año 2012 inicia con una temperatura de 13 °C permanece constante hasta los meses de Junio. Los siguientes 3 meses disminuye 1°C. Ascende a temperatura máxima de 14 °C, hasta Diciembre. La mayor velocidad de viento registra en Marzo. A diferencia de los años anteriores la presión atmosférica asciende un valor considerable a partir del mes de Mayo, hasta finalizar el año. En cuanto a la precipitación inicia el año con lluvias hasta los meses de Abril, los siguientes meses no se ha registrado lluvias. El valor más alto que llega el porcentaje de humedad es en Febrero.

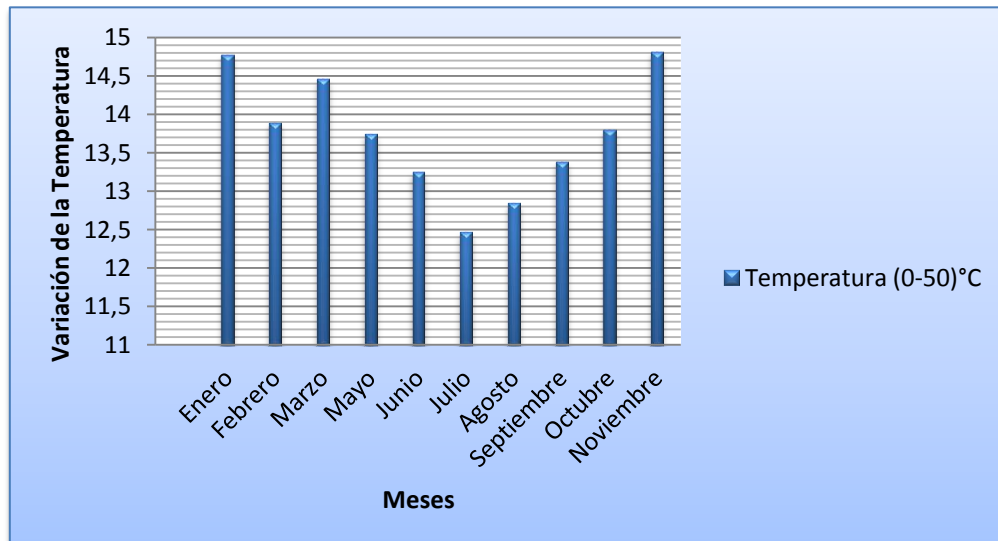
GRÁFICA 13. VARIACIÓN DE LA TEMPERATURA AÑO 2012



FUENTE: FANNY PACA

El año 2013, Enero y Marzo tienen las temperaturas más altas 14°C, en Febrero tiende a descender 1°C, Abril-Mayo registra 13°C. Volviendo a descender 1°C Junio-Julio. Agosto-Septiembre suman 1°C. En Noviembre la temperatura aumenta 1°C. La mayor velocidad de viento registrada es en el mes de Junio. La presión atmosférica permanece constante hasta Agosto. No existe registro de lluvias. En Febrero marca el valor más alto en porcentaje de humedad.

GRÁFICA 14. VARIACIÓN DE LA TEMPERATURA AÑO 2013



FUENTE: FANNY PACA

### **3.1.1.1. Topografía**

Ondulada

Número de viviendas: cuatro (Ver anexo 1 & 12)

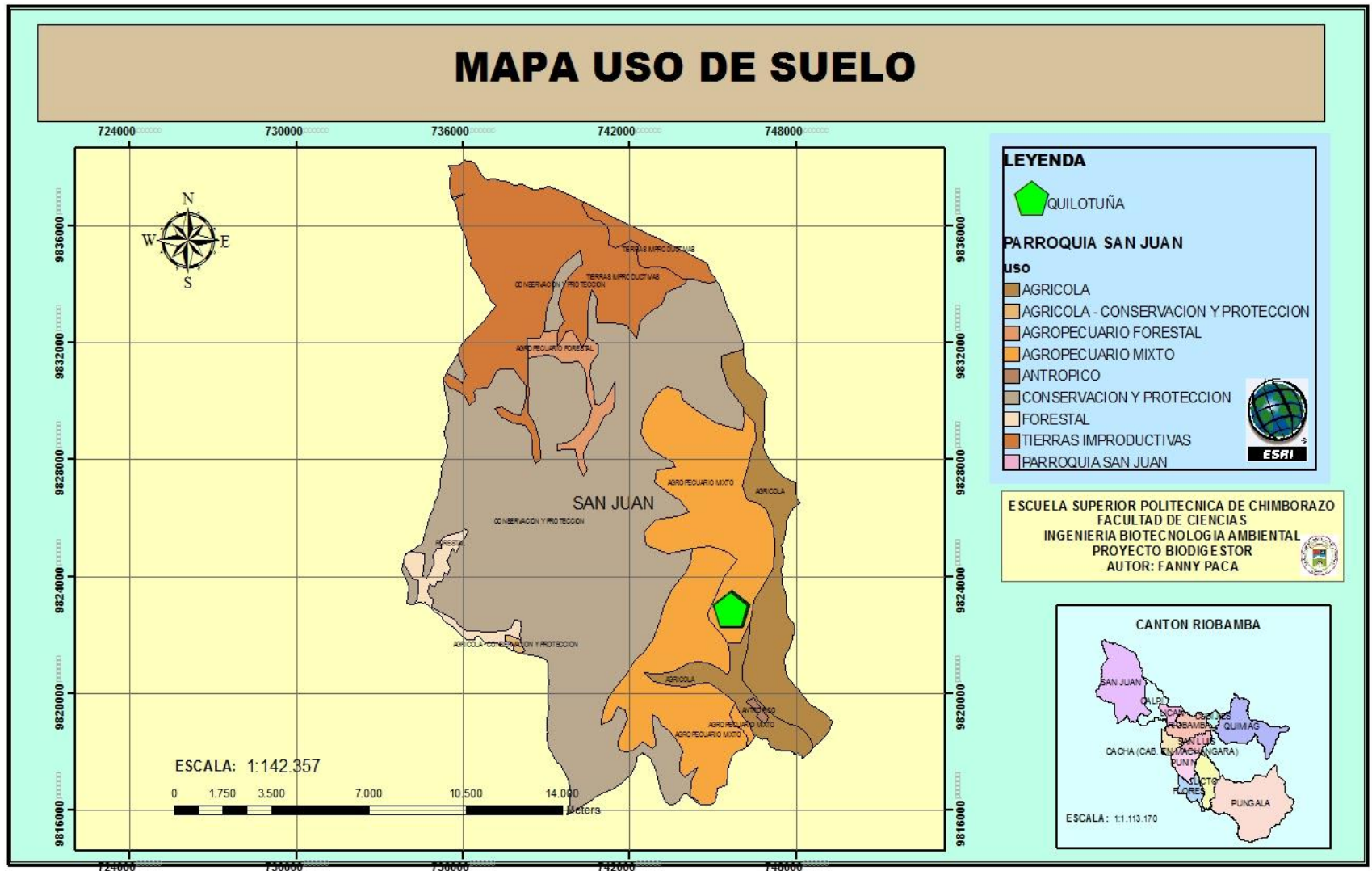
### **3.1.1.2. Características climáticas**

Las características bioclimáticas la definen como una zona con clima húmedo templado, con un rango de temperatura promedio anual, que oscila entre los 12°C a 16 °C y un rango de precipitación anual 500 a 1000 mm<sup>3</sup>. (PD y OT Parroquia San Juan, 2011)

### **3.1.1.3. Usos del Suelo**

Debido al gran porcentaje de suelos agrícolas ocupados para el pastoreo de ganado bovino y ovino, en la comunidad el modelo productivo es de tipo ganadero para producción de lácteos, por lo que se podría decir que el principal uso del suelo son pastos, seguidos de papas y habas y una muy pequeña extensión es ocupada para otros productos cuyo destino es el autoconsumo, como habas, acelga, rábano. (PD y OT Parroquia San Juan, 2011)

FIGURA 7. USO ACUAL DEL SUELO

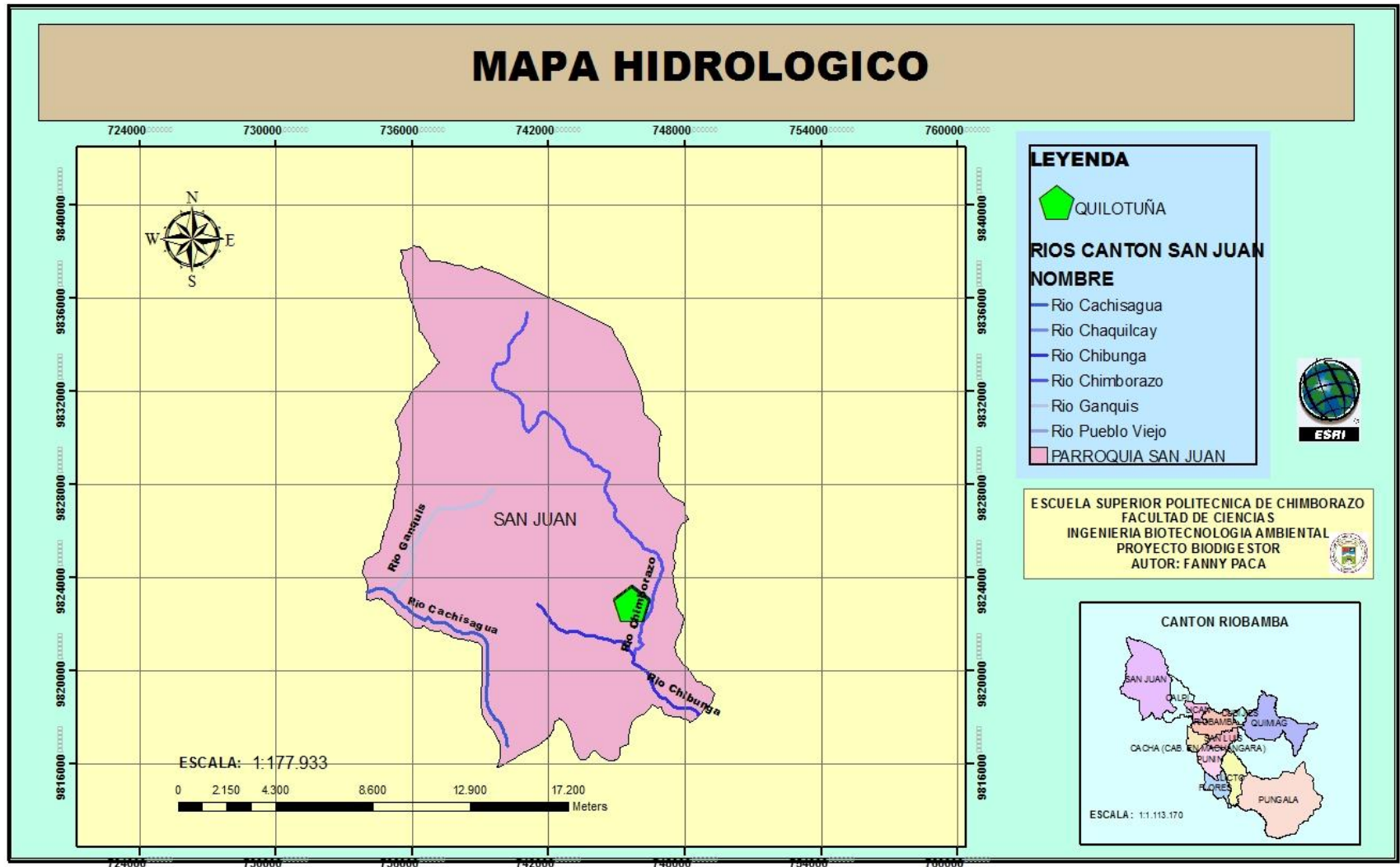


FUENTE: FANNY PACA

#### **3.1.1.4. Hidrología**

El río Chimborazo que recorre por el sur del área de estudio de la comunidad Shobol Llin llin, en sentido Norte-Sur, constituye la principal red fluvial de la zona, que nace desde los deshielos del nevado Chimborazo, dando lugar a la microcuenca Chimborazo, que se une con el río Sicalpa en Cajabamba y llega hasta la ciudad de Riobamba con el nombre de río Chibunga, que sigue su curso al sur, formando el río Chambo.

FIGURA 8. CUENCAS HIDROGRAFICAS












FUENTE: FANNY PACA

### 3.1.2. MEDIO BIOLÓGICO



#### 3.1.2.1. Flora

TABLA 11. LISTADO DE LA FLORA DE LA GRANJA "QUILOTUÑA".  
PLANTAS

Familia	Género	Especie	Nombre Común
Asteraceae	<i>Taraxacum</i>	<i>T. officinale</i>	Diente de León 
Poaceae	<i>Pennisetum</i>	<i>P. clandestinum</i>	Kikuyo 
Urticaceae	<i>Urtica</i>	<i>U. dioica</i>	Ortiga Mayor 
Fabaceae	<i>Trifolium</i>	<i>T. repens</i>	Trébol blanco 

<b>Polygonaceae</b>	<i>Rumex</i>	<i>R. acetosa</i>	Lengua de Vaca o acedera 
<b>Malvaceae</b>	<i>Tilia</i>	<i>T. cordata</i>	Tilo 
<b>Solanáceas</b>	<i>Solanum</i>	<i>S. tuberosum</i>	Papa 
<b>Fabaceae</b>	<i>Vicia</i>	<i>V. faba</i>	Haba 
<b>Piperaceae</b>	<i>Piper</i>	<i>P. aduncum</i>	Matico 





<b>Plantaginaceae</b>	<i>Plantago</i>	<i>P. major</i>	Llantén mayor 
<b>Poaceae</b>	<i>Dactylis</i>	<i>D. glomerata</i>	Pasto azul 

FUENTE: FANNY PACA

### 3.1.2.2. Fauna

TABLA 12. LISTADO DE FAUNA DE LA GRANJA "QUILOTUÑA".

AVES			
Familia	Género	Especie	Nombre Común
<b>Emberizadae</b>	<i>Zonotrichia</i>	<i>Capensis</i>	Chingolo 
<b>Turdidae</b>	<i>Turdus</i>	<i>Fuscater</i>	Mirlo grande 

<b>Columbidae</b>	<i>Columba</i>	<i>Livia</i>	Paloma 
<b>Anatidae</b>	<i>Anser</i>	<i>A. fabalis</i>	Ganso 
<b>Columbidae</b>	<i>Zenaida</i>	<i>auriculata</i>	Tórtola 
<b>Apodidae</b>	<i>Streptoprocne</i>	<i>S. zonaris</i>	Golondrina 
<b>Bovidae</b>	<i>Ovis</i>	<i>O. orientalis</i>	Oveja 

<b>Bovidae</b>	<i>Bos</i>	<i>Bos taurus,</i> <i>Bos indicus</i>	Vaca 
<b>MAMÍFEROS</b>			
<b>Familia</b>	<b>Género</b>	<b>Especie</b>	<b>Nombre Común</b>
<b>Canidae</b>	<i>Canis</i>	<i>lupus-</i> <i>familiaris</i>	Perro 
<b>Felidae</b>	<i>Felis</i>	<i>Felis catus</i>	Gato Doméstico 

FUENTE: FANNY PACA

### 3.1.2.3. Determinación de la capacidad de carga animal

Para medir la cantidad de pasto que hay en un área específica y establecer el período de tiempo que puede durar un lote de animales pastoreando, sin que se dañen los animales ni los recursos naturales, se realizó un trazado diagonal a lo largo del pastizal. (Ver anexo 3)

El pasto cortado de todos los muestreos se pesó inmediatamente, se obtuvo un peso total de 4 libras, este peso se dividió por el número de cuadrantes cosechados. El número de cuadrantes usados son 4.

Por lo tanto la producción de  $0,25 \text{ m}^2$  por cuadrante es: (Ver anexo 3)

$$A = \frac{B}{C}$$

$$A = \frac{1,8 \text{ kg}}{4 \text{ m}^2}$$

$$A = 0,45 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

La producción total del potrero (D), para lo cual debemos saber con bastante exactitud su área del potrero (E) que es de  $2,75 \text{ ha}$  ( $27500 \text{ m}^2$ ). Conociendo el dato anterior, lo multiplicamos por la producción por cuadrante (A).

$$D = E * A$$

$$D = 27500 \text{ m}^2 * 0,45 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$D = 12375 \text{ kg}$$

La cantidad anterior es la producción en  $2,75$  hectáreas, por lo tanto cada hectárea produce la tercera parte, es decir  $4500 \text{ kg}$ .

Producción total por hectárea  $F = 4500 \text{ kg}$ .

Enseguida es necesario calcular la cantidad de pasto que se pierde por pisoteo (G), que puede oscilar entre  $20$  y  $40 \%$ . Para lo cual usaremos el  $30 \%$ .

$$G = \frac{D * H}{100}$$

$$G = \frac{12375 \text{ kg} * 30 \%}{100}$$

$$G = 3712,5 \text{ kg}$$

El pasto perdido por hectárea sería  $I = 1350 \text{ kg}$ .

A partir del dato anterior, es posible calcular la cantidad de pasto aprovechable por parte de los animales (J). Cifra que se extrae descontando de la producción total las pérdidas por pisoteo.

$$J = D - G$$
$$J = 12375 \text{ kg} - 3712,5 \text{ kg}$$
$$J = 8662,5 \text{ kg}$$

Seguidamente calculamos, el pasto aprovechable por cada hectárea,  $k = 3150 \text{ kg/ha}$

Calculo para estimar cuántas U.A. (Unidades Animales) tiene el lote que pastoreará el potrero, partiendo de las siguientes equivalencias:

- Una vaca (450 kg. aprox.) equivale a..... 1U.A.
- Un toro o 1 caballo equivalen a.....1.2 U.A.
- Una novilla o 1 macho de engorda equivalen a..... 0.8 U.A.
- Un animal (macho o hembra) de desarrollo equivale a.....0.7 U.A.
- Un ternero de cría equivale a..... 0.4 U.A.

$$L = M * N$$

- Si tenemos 14 vacas (450 kg)
- 2 vacas hembras de desarrollo
- Un toro

$$L = 14 * 1U. A. = 14 U. A.$$

$$L = 2 * 0,7 U. A. = 1,4 U. A.$$

$$L = 1 * 1,2U. A. = 1,2 U. A.$$

$$L = 16,6 U. A.$$

Por lo tanto el total de U.A. del lote es:

$$L \approx 17 U. A.$$

A continuación debemos calcular cuánto pasto come el lote en un día (O), tomando como base que el consumo diario de cada U.A. (450 kg.), equivalente al 10 % de su peso, es decir, 45 kg en promedio.

$$\begin{aligned}O &= 45 \text{ kg} * L \\O &= 45 \text{ kg} * 17 \frac{\text{U.A.}}{\text{día}} \\O &= 765 \text{ kg/día}\end{aligned}$$

Con los datos anteriores podemos calcular lo que se denomina el Período de Permanencia (H), que equivale al número de días que debería permanecer el lote en el potrero.

$$\begin{aligned}H &= \frac{J}{O} \\H &= \frac{8662,5 \text{ kg}}{765 \text{ kg/día}} \\H &= 11,3 \text{ día}\end{aligned}$$

El siguiente paso es saber cuál es el consumo de todo el Período de rotación (Q) que es el resultado del período de permanencia + período de descanso. El período de descanso es el tiempo en que los animales no permanecen en el potrero. Se considera un tiempo de 45 días de descanso para la propiedad de la granja, le sumamos los 11 días del período de permanencia, tenemos 56 días de período de rotación (P).

$$\begin{aligned}Q &= O * P \\Q &= 765 \frac{\text{kg}}{\text{día}} * 56 \text{ días} \\Q &= 42840 \text{ kg}\end{aligned}$$

Un primer dato de utilidad es saber cuál es el área de pastoreo que necesita el lote (R).

$$R = \frac{Q}{K}$$

$$R = \frac{42840 \text{ kg}}{3150 \text{ kg/ha}}$$

$$R = 13,6 \text{ ha}$$

Finalmente, podemos calcular la capacidad de carga:

$$S = \frac{L}{R}$$

$$S = \frac{17 \text{ U. A.}}{13,6 \text{ ha}}$$

$$S = 1,25 \text{ U. A./ha}$$

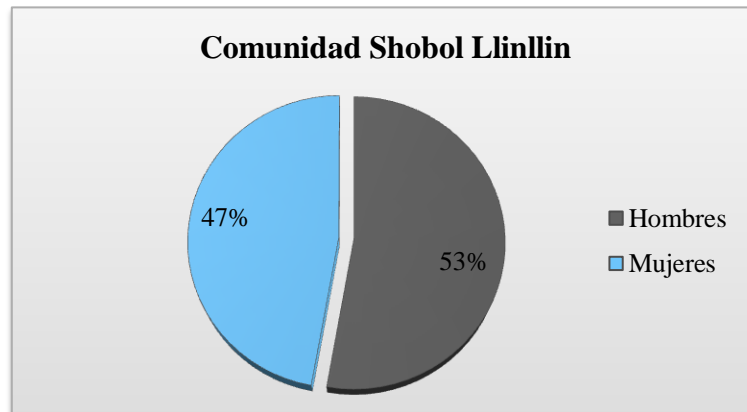
La carga 1,25 U.A./ha es decir una vaca de 450 kg la cual tiene requerimientos diarios de 10.3 a 11.8 kg de materia seca de forraje. Por lo tanto, una U.A. es igual a 200.6 kg de materia seca (17 U.A. X 11.8), según los cálculos obtenidos se tiene un pasto aprovechable de 8662,5 kg, es la cantidad total de pastizal que se estima que realmente aprovecha el ganado durante el pastoreo, con una disponibilidad diaria de forraje de 765 kg, suficiente para abastecer de forraje a los 17 cabezas de ganado de la granja. Según los autores (González & Carrete, 2007), entre la disponibilidad de pasto y los requerimientos de los animales debe existir una relación de equilibrio. Comprobándose así, que no existe sobrepastoreo, por lo que es una actividad que no tiene mayor impacto sobre las condiciones del suelo y vegetación en la zona de estudio.

### **3.1.3. MEDIO SOCIOECONÓMICO**

#### **3.1.3.1. Demografía**

La comunidad Shobol Llin llin posee 622 habitantes, está conformada de 75 familia, con un porcentaje de 52,8% hombres y 47,2% mujeres respectivamente. (Censo Nacional de Población y Vivienda 2010.)

**GRÁFICA 15. POBLACIÓN ACTUAL**



FUENTE: FANNY PACA

### **3.1.3.2. Perfil económico de la comunidad Shobol Llin llin**

En cuanto al tema del trabajo en el sector privado, más del 50% son personas que trabajan como choferes de volquetas.

En cuanto a la cuestión de migración temporal, el 47,8% de los casos registrados tienen a Quito como destino, otras ciudades de la sierra como Ambato y Cuenca representan el 21,7% de los casos y otras ciudades de la costa el 18,8%, a Guayaquil migran de manera temporal el 5,8%.

El principal destino a nivel internacional es España con el 51% de los casos registrados, y Estados Unidos el 40%. La comunidad Shobol Llin llin han reportado un 9% de casos de migración externa. La motivación para viajar es de tipo laboral, los migrantes desempeñan funciones en el área de la construcción, labores domésticas. La periodicidad de las remesas es mensual y bimensual. Los migrantes de la comunidad visitan a sus familias una vez cada dos años en el menor de los casos, la gran mayoría no han regresado desde el primer viaje, que en promedio son 10 años. (PD y OT Parroquia San Juan, 2011)

### **3.1.3.3. Infraestructura vial**



**3.1.3.3.1. Carreteras:** Pavimentada, la comunidad cuentan con acceso a vías de primero y segundo orden.

#### **3.1.3.4. Economía**

Según el plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la parroquia San Juan (Diciembre 2011), señala la principal actividad que genera ingresos económicos en la comunidad Shobol Llin llin es la ganadería, existe extensas zonas de pasto que se aprovecha para la producción ganadera. Con respecto al ganado bovino, en la comunidad no existe ganado mejorado, toda la población es para producción de leche, en el caso de los machos son principalmente utilizados para la inseminación, cuando se produce el nacimiento de un macho este es vendido en el camal de Riobamba. La población de ganado ovino, mismos que con criados en la comunidad es principalmente para la producción de carne y en segundo lugar de lana. La lana la utilizan las mujeres para tejer sus prendas de vestir como anacos y bayetas.

#### **3.1.3.5. Servicios básicos**

El agua de consumo es entubada. La comunidad si cuenta con servicio de alcantarillado. No existen sistema de recolección de basura, los desechos plásticos son quemados en un 80% y el 100% de la población utiliza la desechos orgánicos como abono.

El 100% de las familias tienen abastecimiento de energía eléctrica, a través de la red pública. El 45,2 % de la comunidad tiene teléfono celular y un teléfono que es considerado público en la comunidad. (PD y OT Parroquia San Juan, 2011)

### **3.2. VALORACIÓN E IDENTIFICACION DE IMPACTOS**

A continuación se describen los principales componentes ambientales y actividades con sus respectivos impactos referentes a la problemática de la granja “Quilotuña”, en la comunidad Shobol Llin llin.

**TABLA 13. MATRIZ DE IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES**

COMPONENTES AMBIENTALES	ACTIVIDADES							IMPACTOS	CRITERIOS DE EVALUACIÓN										
	PRODUCCIÓN DE ANIMALES	PASTOREO	ORDEÑO	PRODUCCIÓN DE FORRAJE.	TALA DE BOSQUES	QUEMA DE LEÑA	USOS DE PURINES O ESTIÉRCOL		USOS DE ENERGÍA	NATURALEZA	MAGNITUD	IMPORTANCIA	CERTEZA	TIPO	REVERSIBILIDAD	DURACIÓN	TIEMPO EN APARECER	CONSIDERACIONES EN EL	PONDERACIÓN
<b>AIRE</b>	x	x	x			x	x		Emisión de olores	(-)	1	2	C	Sc	2	2	C	S	6
					x	x	x	x	Calidad del aire a nivel local	(-)	2	3	C	Sc	2	1	C	S	9
		x							Generación de polvo	(-)	2	1	C	Sc	2	2	C	S	6
	x				x	x		x	Emisión de los gases de invernadero (GEI)	(-)	3	2	C	Sc	2	3	M	S	11
<b>AGUA</b>	x	x		x		x	x		Contaminación de los recursos hídricos	(-)	2	2	P	Sc	2	2	M	S	8
	x	x				x	x		Incremento de la carga orgánica (DBO,DQO)	(-)	1	1	I	Sc	2	1	M	S	4
<b>FLORA</b>	x	x		x	x		x		Pérdida de biodiversidad	(-)	1	2	P	Sc	2	2	C	S	6
<b>FAUNA</b>	x	x		x	x		x		Aparición de fauna nociva	(-)	1	1	P	Ac	1	1	C	N	3
<b>SUELO</b>	x	x		x	x	x	x		Degradación del suelo	(-)	1	2	P	Sc	2	2	C	S	6
	x	x	x				x		Compactación del suelo	(-)	1	1	C	Ac	2	2	C	S	5
		x	x	x	x	x	x		Erosión	(-)	1	2	I	Sc	2	2	M	S	6
<b>SOCIO-ECONOMÍA</b>	x								Mejoramiento de la economía local	(+)	2	2	C	Pr	1	3	M	S	8
	x								Incremento de ingresos económicos	(+)	2	2	C	Pr	1	3	M	S	8
	x		x						Mejoramiento de la calidad de vida del beneficiario	(+)	2	2	C	Ac	1	3	M	S	8
<b>PAISAJE</b>		x			x		x		Alteración del paisaje natural	(-)	1	1	P	Sc	2	2	M	S	5
<b>POBLACIÓN</b>							x		Aparición de enfermedades	(-)	1	2	P	Sc	2	1	C	S	5
						x	x		Aparecimiento de enfermedades respiratorias.	(-)	1	2	P	Sc	2	1	C	S	5

FUENTE: FANNY PACA

**TABLA 14. MATRIZ DE CUANTIFICACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES**

COMPONENTES AMBIENTALES	ACTIVIDADES								TOTAL IMPACTOS POSITIVOS	TOTAL IMPACTOS NEGATIVOS	TOTAL
	PRODUCCIÓN DE ANIMALES	PASTOREO	ORDEÑO	PRODUCCIÓN DE FORRAJE.	TALA DE BOSQUES	QUEMA DE LEÑA	USOS DE PURINES O ESTIÉRCOL	USOS DE ENERGÍA			
AIRE	-6	-6	-6			-6	-6		-	30	116
					-9	-9	-9	-9	-	36	
		-6							-	6	
	-11				-11	-11		-11	-	44	
AGUA	-8	-8		-8		-8	-8		-	40	56
	-4	-4				-4	-4		-	16	
FLORA	-6	-6		-6	-6		-6		-	30	30
FAUNA	-3	-3		-3	-3		-3		-	15	15
SUELO	-6	-6		-6	-6	-6	-6		-	36	92
	-5	-5	-5				-5		-	20	
		-6	-6	-6	-6	-6	-6		-	36	
SOCIO-ECONOMÍA	8								8	-	32
	8								8	-	
	8		8						16	-	
PAISAJE		-5			-5		-5		-	15	30
POBLACIÓN							-5		-	5	
						-5	-5		-	10	
TOTAL IMPACTOS POSITIVOS	24		8						64		
TOTAL IMPACTOS NEGATIVOS	49	55	17	29	46	55	68	20		678	
TOTAL	73	50	25	29	41	50	68	20			742

FUENTE: FANNY PACA

Las componentes ambientales que se ven afectados con un impacto negativo alto en este lugar son: aire, agua y suelo, esto está determinado por el residuo generado en este lugar.

La componente ambiental socioeconómica es la que determina un impacto positivo alto, dado que genera ingresos económicos con la producción de animales que utilizan para la venta y autoconsumo. Indistintamente hay ingresos económicos mediante el ordeño con la venta de la leche.

La matriz nos indica que la mayor incidencia del proyecto es sobre la componente ambiental aire en lo que se refiere a la emisión de olores, generación de polvo, emisión de los gases de invernadero, que afectan la calidad de aire. En la componente suelo causa compactación y erosión de la misma.

Según los criterios de evaluación la naturaleza de los impactos generada en este proyecto, en su mayoría resulta negativa. La matriz causa efecto proyecta un total de 64 impactos positivos y 678 impactos negativos, generando mayor repercusión con un impacto de alta magnitud en las componentes ambientales aire y suelo.

Una vez identificados los principales problemas ambientales que derivan en el manejo inadecuado de los recursos ganaderos en esta comunidad se ha finiquitando que hay mayor peso en los impactos negativos, por lo cual es necesario la introducción de biodigestores en este lugar.

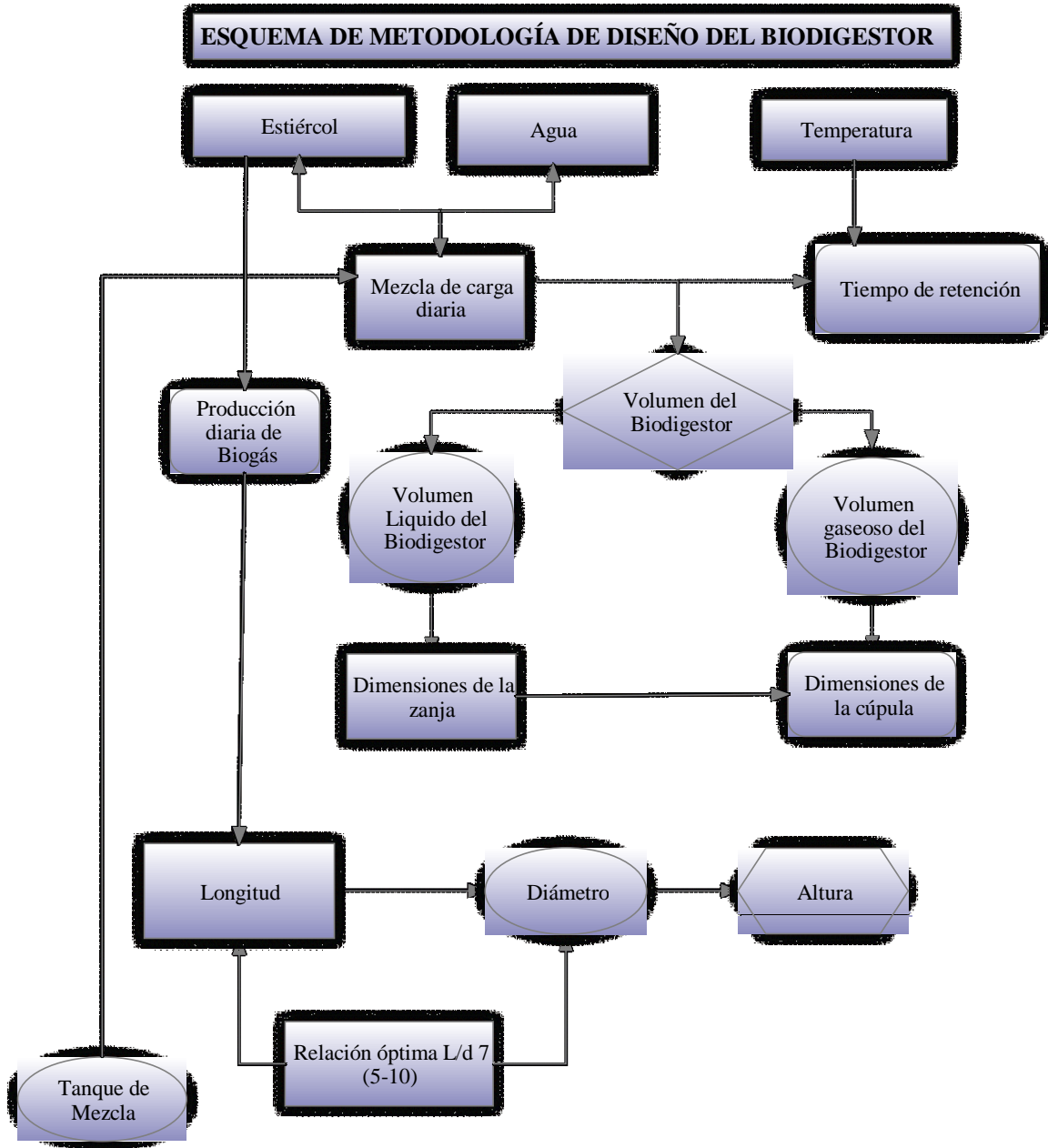
### **3.3. DISEÑO**

Para el diseño del biodigestor se ha tomado en cuenta los siguientes factores:

El factor económico, la alta inversión que requiere construir un biodigestor de estructura fija, resulta una limitante para la granja “Quilotuña”. Este es el motivo por la que se plantea un biodigestor de material flexible por su bajo costo, por su facilidad en la instalación y mantenimiento.

La disponibilidad de la materia prima, materiales de construcción, mano de obra, área disponible. Otros factores que se ha tomado en cuenta son los requerimientos sanitarios, el estiércol que se acumula provoca una serie de infección, olores y moscas. (Ver anexo 4)

GRÁFICO 16. DISEÑO DEL BIODIGESTOR BOLSA FLEXIBLE



FUENTE: FANNY PACA

### 3.4. CÁLCULOS

#### 3.4.1. Requerimientos de combustible

Para el dimensionado se tendrá las siguientes condiciones:

- Se dimensionará el biodigestor para un número de familias.
- Determinar el tiempo necesario de consumo. Es así que para el consumo en una cocina se requiere un tiempo de 3 horas por familia, considerando la condición más desfavorable.
- Considerando que por cada hora de cocción en una cocina de biogás son necesarios aproximadamente  $0,2 \text{ m}^3$  de biogás, de una estufa de un fogón (tabla 5) incluyendo la eficiencia de estos quemadores, de un 55% aproximadamente, se puede calcular la necesidad diaria de biogás.

$$0,2 \frac{\text{m}^3 \text{ biogás}}{\text{h cocina}} * 3 \frac{\text{h cocina}}{\text{día} * \text{familia}} * 2 \text{ familias} = 1,2 \frac{\text{m}^3 \text{ biogás}}{\text{día}}$$

El biodigestor de bolsa flexible es el digestor a diseñar para producir la cantidad de combustible suficiente para generar la demanda de consumo de cocción de dos familias de la granja Quilotuña en la comunidad Shobol Llin llin. El cálculo del consumo de combustible es coherente, teniendo en cuenta que el poder calorífico del biogás es menor que el del gas natural.

#### 3.4.2. Cuantificación del estiércol disponible

Para el presente proyecto, se dimensionara por las cantidades exactas de materia orgánica que deseamos procesar y estimar todo el biogás a obtener para lo cual debemos considerar lo siguiente:

- a. Tipo de animal del que procede el estiércol:

Se tiene 17 bovinos en total, doce son vacas lecheras, dos vacas secas, dos vaquillas y un macho toro. (Ver anexo 1)

**TABLA 15. DATOS DE LOS EJEMPLARES BOVINOS**

°N	NOMBRES	EDAD (años)	RAZA	PESO (Kg)
1	Cuernos roto	8	Holstein	513
2	Botadora	5	Holstein	511
3	Maricruz	5	Brown Swiss	491
4	Muji	4	Holstein	453
5	Nelly	2	Brown Swiss	432
6	Flaca	5	Holstein	429
7	Negra Chica	3	Brown Swiss	420
8	Negra grande	3	Brown Swiss	420
9	La fiera	3	Brown Swiss	485
10	Manu	4	Brown Swiss	424
11	Maño	5	Holstein	420
12	Arcel	4	Brown Swiss	418
13	Aili	4	Brown Swiss	323
14	Alaja	3	Holstein	320
15	Tere	5	Holstein	418
16	Bonita	4	Brown Swiss	428
17	Torete	4	Holstein	510
Peso vivo promedio es de 436 kg				

FUENTE: FANNY PACA

a. Disponibilidad de estiércol (materias primas) en la propiedad.

**TABLA 16. DATOS EXPERIMENTALES DE LA CANTIDAD DE ESTIÉRCOL DIARIO PRODUCIDO EN LA GRANJA (CE).**

<b>Total de ejemplares 17</b>							
<b>Días (12-08-13 al 18-08-13)</b>	Lunes (kg)	Martes (kg)	Miércoles (kg)	Jueves (kg)	Viernes (kg)	Sábado (kg)	Domingo (kg)
<b>Peso Estiércol (kg)</b>	93,94	99,47	95,66	100,88	97,93	102,98	97,13
<b>Total estiércol (kg/semanal)</b>	687,99						
<b>Peso Promedio del estiércol (kg/día)</b>	98,3						

FUENTE: FANNY PACA

Para producir la cantidad de combustible suficiente para satisfacer la demanda de cocción de dos familias en la granja se debe calcular el número de ganados necesarios. Anteriormente se estimó que la demanda diaria de biogás, para satisfacer las necesidades de cocción para dos familias es  $PG = 1,2 \text{ m}^3 \text{ biogás/día}$ . Para producir esta demanda de biogás es necesario comprobar si existe suficiente biomasa y número de animales, que puedan suplir las necesidades de combustible de las dos familias de la granja Quilotuña en la comunidad Shobol Llin llin.

La materia prima para la producción del biogás es el estiércol fresco. Los valores y características del estiércol de vaca, se toman de la tabla 7. Datos corroborados por la difusión de la tecnología del biogás en Colombia, GTZ, 1987. Por lo tanto, se tiene:

PE-Estiércol=5; Po-Orina= 4; % EST Sólidos=15-16; % SO Sólidos orgánicos=13; Relación C/N= 20; P- Producción de biogás ( $\text{m}^3$  de gas/1kg SO)= 0.250

Dónde:

PE: Producción de estiércol por animal por día en % de peso vivo.

PO: Producción de orín por animal por día en % de peso vivo (se asume que 1 litro de orín pesa 1 kg).

% EST: Porcentaje de sólidos en el estiércol.

% SO: Porcentaje de materia orgánica del estiércol.

P: Producción aproximada de  $\text{m}^3$  de gas/1 kg de masa orgánica seca total.

De manera general hay que calcular cuánto estiércol se dispone al día. Para ello es necesario estimar la materia prima para cargar, considerando el manejo del ganado, ya que los ganados duermen en la noche en el corral de la granja y solo se podrá recoger, aproximadamente el 40% del estiércol producido por animal a lo largo del día.

$$MPC = \frac{PB}{SO * P}$$
$$MPC = \frac{1,2 \frac{\text{m}^3 \text{ biogás}}{\text{día}}}{0,13 * 0,250 \frac{\text{m}^3 \text{ biogás}}{\text{Kg}}}$$
$$MPC = 36,9 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$



Para el presente proyecto no se tendrá en cuenta el orín del ganado ya que no es posible su recolección debido a que el ganado se encuentra en terreno destapado. Por lo tanto la materia prima para cargar es igual al estiércol diario recolectado, el cual es igual al 40% de la producción total. Se tiene entonces:

$$MPC = E + O$$

Dónde:

MPC: Materia prima para carga en kilogramos por día.

E: Estiércol en kilogramos por día.

O: Orín en kilogramos por día.

$$\begin{aligned} MPC &= E \\ E &= \frac{MPC}{0,4} \\ E &= \frac{36,9 \frac{kg}{día}}{0,4} = 92,3 \frac{kg}{día} \end{aligned}$$

De la siguiente ecuación despejamos NA.

$$E = NA * PVP * \frac{PE}{100}$$

Dónde:

NA: Número de animales por una especie.

PVP: peso vivo promedio por animal.

PE: Producción de estiércol por animal por día en porcentaje de peso vivo.

PO: producción de orín por animal por día en porcentaje de peso vivo.

$$\begin{aligned} NA &= \frac{E}{PVP * \frac{PE}{100}} \\ NA &= \frac{92,3 \frac{kg}{día}}{400kg * \frac{5kg/día}{100kg}} \\ NA &= 4,6 \approx 5 \text{ vacas} \end{aligned}$$

Se necesita 5 cabezas de ganado con un peso promedio de 400 kg/cu para generar el biogás suficiente que supla los requerimientos de cocina de 2 familias. De acuerdo con el censo del ganado de la granja Quilotuña, se comprueba que la población a beneficiarse cuenta con biomasa suficiente para generar su propia demanda de gas para la cocción.

### 3.4.3. Cálculo del volumen de la carga diaria de entrada ( $V_{CD}$ )

En la Guía de diseño y manual de Instalación de Biodigestores Familiares GTZ, Bolivia 2008, en el caso de estiércol de ganado bovino, para biodigestores tubulares, nos recomienda que resulta conveniente cargar el biodigestor con una carga de estiércol-agua 1:3. Para la dimensión se usara los datos experimentales de la cantidad de estiércol que se recolecto en toda la semana.

$$V_{CD} = CE + 3 \text{ de } H_2O = \frac{98,3 \text{ Kg}}{\text{día}} + (3) \frac{98,3 \text{ L}}{\text{Kg}} = \frac{393,2 \text{ L de mezcla}}{\text{día}}$$

$$V_{CD} = \frac{0,4 \text{ m}^3 \text{ de mezcla}}{\text{día}}$$

### 3.4.4. Tiempo se retención

De acuerdo a la temperatura media obtenida de la estación meteorológica Synphonie Data Retriever, de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH, tenemos un promedio de media década que resulta 13.5 °C (Ver anexo 13), interpolando el tiempo de retención en función de la temperatura ambiente, se establece un tiempo de retención ( $Tr$ ) de 42 días. (Ver anexo 14)

### 3.4.5. Volumen del digestor

Según la referencia bibliográfica de guía de diseño y manual de Instalación de Biodigestores Familiares GTZ, Bolivia 2008, el volumen total del biodigestor ha de albergar una parte líquida y otra gaseosa dando un espacio del 75% del volumen total a la fase líquida, y del 25% a la fase gaseosa.

El volumen del biodigestor es igual a la carga por el tiempo de retención y por el factor 1,2 correspondiente al volumen adicional para el almacenamiento de biogás.

$$V_d = \text{Mezcla diaria de carga } V_{CD} \left( \frac{m^3}{\text{dia}} \right) * \text{Tiempo de retención (dia)} * 1,2$$

$$V_d = \frac{0,4 \text{ m}^3 \text{ de mezcla}}{\text{dia}} * 42 \text{ dia} * 1,2$$

$$V_d = 20 \text{ m}^3$$

El volumen total será por tanto, la suma de  $V_L$  y  $V_G$ .

#### **3.4.6. Volumen líquido ( $V_L$ )**

$$V_L = V_d * 75\%$$

$$V_L = 20 \text{ m}^3 * 0,75$$

$$V_L = 15 \text{ m}^3$$

#### **3.4.7. Volumen gaseoso ( $V_g$ )**

$$V_g = V_d * 25\%$$

$$V_g = 20 \text{ m}^3 * 0,25$$

$$V_g = 5 \text{ m}^3$$

### 3.4.8. Estimación de la producción diaria de biogás

A continuación se especifica los pasos para calcular la posible producción de biogás según la cantidad de biomasa producida por 17 cabezas de ganado que posee en la granja Quilotuña, con un peso promedio de 400 kg.

$$\text{Producción de estiércol} = E = NA * PVP * \frac{PE}{100}$$

$$E = 17 * 400kg * \frac{5kg}{100kg} = 340 \frac{kg}{dia}$$

$$\text{Estiércol recolectado} = E' = E * 40\% = \frac{340kg}{dia} * 0,4 = \frac{136 kg}{dia}$$

$$\text{Producción de orín} = O = NA * PVP * \frac{PO}{100} = 0$$

$$MPC = E' = \frac{136 kg}{dia}$$

$$\text{Producción de biogas} = PB = MPC * SO * P = \frac{136 kg}{dia} * 0,13 * 0,250 \frac{m^3 biogás}{Kg}$$

$$PB = 4,42 \frac{m^3 biogás}{dia}$$

Dónde:

NA: Número de animales por especie.

PVP: Peso vivo promedio por animal.

PE: Producción de estiércol por animal por día en % de peso vivo.

PB: Producción de biogás en m<sup>3</sup> por día

MPC: Estiércol en kilogramos por día

SO: Porcentaje de materia orgánica del estiércol según la especie.

P: Producción aproximada de m<sup>3</sup> de gas/1 kg de masa orgánica seca total

Esto es la producción de biogás con los 17 cabezas de ganado, se comprueba que va satisfacer las necesidades de combustible de gas de 1,2 m<sup>3</sup> de biogás/día, a las dos familias de la granja Quilotuña.

### 3.4.9. Dimensionamiento de la zanja del biodigestor

El diseño final del biodigestor requiere conocer las dimensiones de la zanja donde se acomodará el plástico tubular. La longitud de la zanja queda determinada por la longitud del biodigestor y la profundidad y ancho de la misma dependerán del ancho de rollo empleado en la implementación del biodigestor.

Como la zanja presenta dos anchos diferentes se toma el promedio de los anchos como el diámetro de la zanja (d).

$$d = \frac{a + b}{2}$$

Para la presente aplicación y por viabilidad del proyecto, el ancho superior no deberá ser superior a 2,5 m. De forma general, se puede emplear las siguientes dimensiones para la zanja.

TABLA 17. DIFERENTES DIMENSIONES DE LA ZANJA

Ancho superior de la zanja (a) en m	Ancho inferior de la zanja (b) en m	Anchos promedios de la zanja (d) en m
2,5	2	2,25
2	1,6	1,8
<b>1,5</b>	<b>1,2</b>	<b>1,35</b>
1	0,8	0,9

FUENTE: FANNY PACA

De la ecuación  $V_{zanja} = \frac{(a+b)}{2} * h * L = d * h * L$  se puede calcular la longitud del biodigestor según los diferentes anchos promedios de la zanja (d), para las diferentes alturas, de manera que se cumpla la relación óptima L/d.

$$L = \frac{V_L}{d * h}$$

### 3.4.10. Relación óptima entre longitud y diámetro del biodigestor

Los biodigestores no deben ser demasiado cortos ni largos y para ello existe una relación óptima entre el diámetro y la longitud que es 7.

Esto significa que dividiendo la longitud estimada entre el diámetro de la manga, habrá que seleccionar las dimensiones del biodigestor que más se acerquen a una relación de 7. Esta relación es flexible en un rango de 5-10, siendo la mejor 7.

TABLA 18. POSIBLES DIMENSIONES DE LA ZANJA

VL (m3)	h (m)	d (m)	L (m)	L/d (optimo 7 en un rango de 5-10)
15	1	2,25	6,67	2,96
15	1	1,8	8,33	4,63
15	1	1,35	11,11	8,23
15	1	0,9	16,67	18,52
15	1,2	2,25	5,55	2,47
15	1,2	1,8	6,94	3,86
<b>15</b>	<b>1,2</b>	<b>1,35</b>	<b>9,26</b>	<b>6,86</b>
15	1,2	0,9	13,89	15,43
15	1,5	2,25	4,44	1,98
15	1,5	1,8	5,55	3,09
15	1,5	1,35	7,41	5,49
15	1,5	0,9	11,11	12,35

FUENTE: FANNY PACA

De acuerdo con la tabla 18, se encuentra una configuración posible que cumple con la relación óptima de la relación entre la longitud y el diámetro del digestor, siendo la más óptima  $L/d = 6,86$  con una altura de 1,2 m un diámetro promedio de la zanja de 1,35 m ( $a=1,5$  y  $b=1,2$ ) y una longitud del digestor de 9,26 m.

En caso de un biodigestor con cúpula de polietileno, el área de la cúpula es igual a la mitad del área de una elipse donde  $r$  es el semieje mayor y  $s$  el semieje menor.

El volumen gaseoso del digestor calculado es de  $5 \text{ m}^3$ . Del cual partimos que se tiene una longitud de  $9,26 \text{ m}$  y un radio del semieje mayor igual a la mitad del ancho superior de la zanja (a), esto es:

$$r = \frac{a}{2}$$
$$r = \frac{1,5}{2}$$

$$r = 0,75 \text{ m}$$

El volumen de la cúpula despejamos el radio del semieje menor a partir de la siguiente ecuación:

$$V_{cupula} = \frac{\pi}{2} * r * s * L$$

Donde

r: semieje mayor.

s: semieje menor.

$$V_{Cúpula} = V_g$$

$$s = \frac{2 * V_g}{\pi * r * L}$$

$$s = \frac{2 * 5 \text{ m}^3}{\pi * 0,75 \text{ m} * 9,26 \text{ m}}$$

$$s = 0,46 \text{ m}$$

Ahora es necesario calcular el perímetro de la cúpula de polietileno, es decir el ancho del plástico de polietileno que formara la cúpula del biodigestor en donde se almacena el biogás producido. Este ancho es igual a la mitad del perímetro total de una elipse.

$$\text{Ancho del plástico de polietileno} = \frac{p}{2}$$

Utilizando la ecuación del matemático Ramanujan que se aproxima al perímetro de la elipse, entonces tenemos:

$$p \approx 2\pi \sqrt{\frac{(r^2 + s^2)}{2}}$$
$$p = \pi \sqrt{\frac{(0,75^2 + 0,46^2)}{2}}$$

$$p = 1,95 \text{ m}$$

Por lo tanto el ancho del plástico será:

$$\text{Ancho del plástico de polietileno} = \frac{p}{2} = \frac{1,95 \text{ m}}{2}$$

$$\text{Ancho del plástico de polietileno} = 0,98 \text{ m}$$

#### **3.4.11. Pendiente de la zanja**

Entre la entrada y la salida se necesita un pendiente de 30 % para facilitar la salida de sólidos. Esto quiere decir la altura de 0.3 m, en relación con el nivel del suelo, un ángulo de elevación de 30 %.

#### **3.4.12. Cálculo del tanque de mezcla**

El método de carga para este tipo de digestores es en forma continua, para que el proceso se lleve a cabo satisfactoriamente. El tanque de mezcla debe tener mínimo la capacidad para almacenar el volumen de la carga diaria del biodigestor el cual fue calculado de 0,4 m<sup>3</sup>/día y el tanque a diseñar presenta una forma cilíndrica, con una relación de diámetro/altura de 2/1, es decir:

$$d = 2h \text{ ó } r = h$$



Para calcular el volumen del tanque de mezcla aplicamos la siguiente ecuación:

$$V_{TM} = \pi * r^2 * h$$

Si  $r = h$  tenemos que:

$$V_{TM} = \pi * r^3$$

Por lo tanto se tiene:

$$r = h = \sqrt[3]{\frac{V_{TM}}{\pi}}$$

$$r = \sqrt[3]{\frac{0,4m^3/\text{dia}}{\pi}}$$

$$h_t = r = 0,5 m$$

$$d_t = 2 * r = 2 * 0,5 m$$

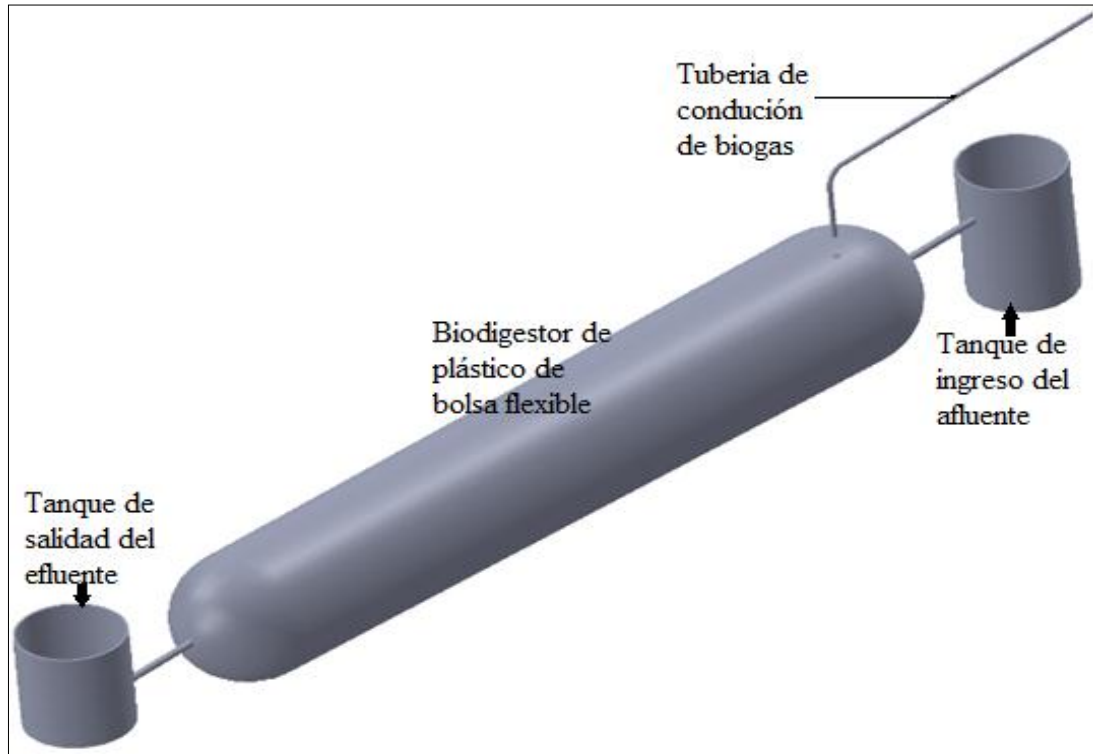
$$d_t = 1 m$$

Por seguridad se sumará 0.40 m como altura de seguridad a los tanques de afluente y efluente forma cilíndrica, debido que el tanque de mezcla debe tener mínimo la capacidad de albergar el volumen de mezcla de carga diaria que ingresara al biodigestor. Por lo tanto las dimensiones finales para el tanque de carga y descarga será 0.9 m de alto total y 1 m de diámetro.

### 3.5. Forma del biodigestor de bolsa flexible

La siguiente figura muestra la forma del digestor de bolsa flexible con las excretas del ganado vacuno que será aplicado en la granja Quilotuña de la comunidad Shobol Llin llin.

FIGURA 9. BIODIGESTOR DE BOLSA FLEXIBLE



FUENTE: FANNY PACA

### 3.6. Estimación de la producción de bioabono por día

Durante la fermentación se pierde una fracción de sólidos totales que envuelven en gas. Esta fracción depende de la producción específica de gas y está comprendida entre 5 al 30 % de sólidos totales.

Para estimar la cantidad de bioabono que se generará en la granja en forma diaria se calcula utilizando la siguiente ecuación.

$$\text{Bioabono} = \text{Carga diaria}(V_{CD}) - [\text{Carga diaria}(V_{CD}) * \frac{\%ST}{100}]$$

$$\text{Bioabono} = \frac{393,2 \text{ kg}}{\text{día}} - \left[ \frac{393,2 \text{ kg}}{\text{día}} * \frac{17\%}{100\%} \right]$$

$$\text{Bioabono} = \frac{326,36\text{kg}}{\text{dia}}$$

TABLA 19. CANTIDAD DE NUTRIENTES OBTENIDO DEL BIOABONO

Elemento	Unidades	Estiércol Fresco	Estiércol biodigerido
Nitrógeno	%	1,36	0,8
Fosforo	%	0,16	0,04
Potasio	%	0,14	0,26
Magnesio (Mg)	%	0,15	0,04
Calcio (Ca)	%	0,43	0,08
Hierro (Fe)	mg/kg	435	72
Cobre (Co)	mg/kg	11	4
Zinc (Zn)	mg/kg	26	6

FUENTE: CASTILLO, U TESIS ING. MECANICA.ESPOL

Para el cálculo de la cantidad de nutrientes a obtener en el bioabono se toma los valores de la tabla 19 del estiércol biodigerido.

$$\text{Nitrógeno (N)} = (0,8\%) * (CE)$$

$$\text{Nitrógeno (N)} = (0,008\%) * \left(\frac{98,3 \text{ Kg}}{\text{día}}\right) = 0,79 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

$$\text{Nitrógeno (N)} = 288 \frac{\text{kg}}{\text{año}}$$

$$\text{Fósforo (P)} = (0,04\%) * (CE)$$

$$\text{Fósforo (P)} = (0,0004) * \left(\frac{98,3 \text{ Kg}}{\text{día}}\right) = \frac{0,039 \text{ Kg}}{\text{día}}$$

$$\text{Fósforo (P)} = \frac{14 \text{ Kg}}{\text{año}}$$

$$\text{Potasio (K)} = (0,26\%) * (CE)$$

$$\text{Potasio (K)} = (0,0026\%) * \left(\frac{98,3Kg}{\text{día}}\right) = 0,25 \frac{kg}{\text{día}}$$

$$\text{Potasio (K)} = \frac{93 kg}{\text{año}}$$

### 3.7. RESULTADOS Y DISCUSIONES

#### 3.7.1. Resultados de la caracterización del estiércol

Los resultados que aquí se expresan esta multiplicado por el factor de dilución, en una relación 1:3 como se manifestó en el capítulo II.

**TABLA 20. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS DE LAS MUESTRA DE ESTIÉRCOL.**

PARÁMETRO	Unidades	Muestra 1 (13-09-2013)	Muestra 2 (20-09-2013)	Muestra 3 (20-09-2013)	PROMEDIO
pH	Und	7	7	7	7
Temperatura del estiércol	°C	36,5	37,7	38,5	37,57
Sulfuros	mg/L	64.2	80.4	56.7	67.1
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	12,615	13,980	11,280	12,625
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L	8,550	9,780	7,500	8,610
Sólidos Totales	%	9,47	9,38	9,69	9,52
Sólidos en Suspensión	mg/L	761.1	836.4	810.3	802.6
Sólidos Volátiles	mg/L	456	561	504	507
Ceniza	%	2.68	3.19	2.81	2.89
Humedad	%	89.8	87.9	86.54	88.08

FUENTE: LABORATORIO DE ANÁLISIS TÉCNICO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA ESPOCH.

Es necesario obtener un alto contenido de biomasa dentro del mismo que permita una alta producción de biogás y una alta reducción de la materia orgánica por unidad de volumen del digestor.

#### **3.7.1.1. pH**

De acuerdo a los autores (Griffis, Mote y Kienholz, 1980), el pH óptimo para la digestión está entre 7,0 y el rango satisfactorio va de 6.7 a 7.5, para alcanzar mayor eficiencia en la fermentación anaeróbica del estiércol.

Los valores de pH obtenidos en las muestra nos indica un rango óptimo, si el pH se mantiene en este rango el biodigestor estará operando correctamente. Si el pH cambia ácido la acción de las bacterias metanogénicas se inhiben, aumentaría la producción de gas carbónico en el biogás (Taigandes, et al., 1963).

#### **3.7.1.2. Sulfuros**

El sulfuro de hidrogeno, CO<sub>2</sub> y el metano se producen en el digestor, en el mismo proceso, es un compuesto normal en el biogás. El sulfuro no se remueve, la combustión del biogás generara dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>). Si no existe un paso de desulfurización, la concentración de H<sub>2</sub>S puede exceder el 0.2% volumen. El objetivo principal es mantener el contenido de ácido sulfhídrico a los niveles más bajos posibles, debido que este gas es sumamente corrosivo en equipos de metal, además de ser dañino para el ambiente y toxico para el ser humano. La concentración máxima permitida en los lugares de trabajo es de 2 ppmv (McKinsey, 2003).

Según los reportes de BOSTID de la National Academy of Sciences, 1977, la reducción del sulfuro de hidrógeno se hace necesaria cuando el biogás presenta sobre 2% en volumen de este compuesto. Sin embargo, la desulfuración no es necesaria si el biogás contiene menos de 1% de este compuesto. La muestra posee una concentración de 67,1 mg/L de sulfuros,

expresado en porcentajes resulta 0,0067% por lo que no es necesario colocar un filtro de retención de sulfuros. Sin embargo esta opinión podría cambiar ya que el azufre depende de la alimentación del animal.

### **3.7.1.3. Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

El valor de DQO se relaciona con la cantidad de carga orgánica que existe en una muestra, sea esta biodegradable o no. El valor promedio 12625 mg/L indica el contenido orgánico total de la materia biodegradable.

Los valores de DQO muestran un descenso significativo, lo cual indica la presencia de biomasa activa que va remover la carga orgánica. Por cada kg de DQO destruido dentro del digestor de biogás se obtendrá cierta cantidad de biogás.

### **3.7.1.4. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)**

El valor promedio de DBO5 es 8610 mg/L indica el consumo de oxígeno, en mg/L de suspensión, durante la degradación por microorganismos durante 5 días.

La relación DQO: DBO5 frecuentemente es utilizada como un indicador de degradación biológica; un valor de 5:1 o mayor, indica que se está presenciando un material lentamente degradable. La excreta de bovino presenta relaciones de DQO: DBO5 típicamente entre 7:1 y 12:1 (Dairy Australia, 2008). Esta relación puede variar dependiendo de la alimentación de los animales. Una alimentación con más contenido de fibra, producirá mayores contenidos de DQO y menores contenidos de DBO5.

### **3.7.1.5. Sólidos Totales**

Es un factor determinante, ya que la movilidad de las bacterias metanogénicas dentro del substrato se ve limitada a medida que se aumenta el contenido de sólidos, por lo tanto,

pueden verse afectadas la eficiencia y producción de biogás. El valor de 9,52 % de sólidos totales que representan el peso del estiércol seco en la muestra analizada, es la carga real de materia sólida que alimentará al digestor.

Hilbert J., 2004, menciona que para digestores continuos el porcentaje de sólidos óptimo oscila entre el 8% y el 12%. Sin embargo en la práctica la gama es de 3 a 10%. El contenido de sólidos debe ser bajo, entre el 10% y el 12%. El porcentaje de sólidos totales contenidos en la mezcla con que se carga el digestor es un factor sustancial a considerar para cerciorar que el proceso se efectúe favorablemente.

#### **3.7.1.6. Sólidos en Suspensión**

Los sólidos suspendidos representarán el material no del todo digerido por los microorganismos. Los residuos de ganado vacuno (RV) están caracterizados fundamentalmente por poseer una elevada carga orgánica, alta concentración en nitrógeno amoniacal y abundante presencia de sólidos suspendidos. La concentración y características de los sólidos suspendidos (SS) presentes también dependen de factores semejantes a los citados en el caso de la materia orgánica.

#### **3.7.1.7. Los sólidos volátiles (SV)**

Los sólidos volátiles (SV) representan la parte de los sólidos totales de estiércol que pasa a la fase gaseosa. Determina el contenido de materia orgánica en la excreta. El cual corresponde a los sólidos totales, menos los minerales (cenizas).

#### **3.7.1.8. Ceniza**

El porcentaje de ceniza 2.89% indica la cantidad de materia sólida no combustible por kilogramo de material.

### **3.7.1.9. Humedad**

La cantidad de agua debe normalmente mantenerse entre un 85 a 90% del peso total, ósea un 15 a 10% de sólidos en el material a descomponerse. Tanto el exceso como la falta de agua en la mezcla serán perjudiciales para una buena producción de biogás. (7)

El valor promedio de humedad 88.08 % es la relación de la masa de agua contenida por kilogramo de materia seca. Las bacterias necesitan un medio fluido para su desarrollo, pero con una concentración adecuada de nutrientes. Una carga de una tonelada de estiércol típico de vaca con un contenido aproximado de 50% de humedad, contiene alrededor de 42 kg de nitrógeno N, 18 kg de  $P_2O_5$  y 26 Kg. de  $K_2O$  (Romero et al., 2000).

El valor de los nutrimentos en el estiércol debe de ser tomado muy en cuenta, es la representación del abono que se va obtener y el aporte de nutrimentos que proporcionará al cultivo. La excreta del ganado vacuno contiene todos los 13 nutrientes esenciales para las plantas: nitrógeno; fósforo; potasio; calcio; manganeso; azufre; magnesio; cobre; zinc; cloro; boro; hierro y molibdeno (Chastain y otros, 2004). Sin lugar a dudas, existe variación en el contenido de nutrientes, dependiendo en parte de la alimentación, del estado físico y de la salud del animal.

### **3.8. Levantamiento Topográfico y Selección del sitio.**

Para la selección del sitio donde se ubicará el biodigestor se ha tomado en cuenta los siguientes factores:

Es importante que el biodigestor capte al máximo las radiaciones solares, para mantener al digestor caliente, sin árboles cerca que le hagan sombra. El lugar no debe estar sujeto a inundaciones, no debe acumular agua en los días de lluvia, ya que las paredes perderán estabilidad, puesto que las inundaciones pueden provocar la disminución de la temperatura del biodigestor.



Estar cerca de la casa para el uso del biogás, para ahorrar tubería, por razones de que estas son costosas. Es importante también tener el suministro de agua cerca del biodigestor, para facilitar las operaciones de la carga diaria.

Estar junto al suministro de la materia prima, para poder cargar cada día con estiércol sin tener que recorrer largas distancias. El biodigestor debe ubicarse en un terreno relativamente llano, así será más fácil su construcción y manejo. Para evitar alguna clase de contaminación, el biodigestor debe encontrarse por lo menos de 10 a 15 metros de distancia de alguna fuente de agua. (30)

El levantamiento topográfico indica un espacio apropiado donde se pretende instalar el biodigestor el mismo que se colocará a 15 m de la casa, en las coordenadas UTM 745680E y 9822860N, a una altura de 3229 m.s.n.m; junto al corral del ganado, cumpliendo con los factores mencionados anteriormente. El lugar de almacenamiento del efluente estará ubicado a 1m del biodigestor, con el fin de evitar infecciones, el terreno está totalmente despejado para atrapar los rayos del sol y mantener caliente el digestor. El biodigestor ocupara un área total de  $24.68 \text{ m}^2$ , perímetro total= 34.26 m. (Ver anexo 12)

### 3.9. Resumen del diseño del biodigestor de bolsa flexible.

TABLA 21. BIODIGESTOR DE BOLSA FLEXIBLE

PARÁMETRO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Cantidad de estiércol	CE	98,3	Kg/día
Volumen de la carga diaria	$V_{CD}$	0,4	m <sup>3</sup> de mezcla/día
Estimación de la producción de biogás diario	$PB$	4,42	m <sup>3</sup> biogás/día
Estimación de producción de bioabono	Bioabono	326,36	Kg/día
Tiempo de retención	Tr	42	Días
Temperatura ambiente promedio	Ta	13,1	°C
<b>VOLUMENES DEL BIODIGESTOR</b>			
Volumen líquido	$V_L$	15	m <sup>3</sup>
Volumen gaseoso	$V_g$	5	m <sup>3</sup>
Volumen del digestor	$V_d$	20	m <sup>3</sup>
<b>DIMENSIONES DE LA ZANJA</b>			
Ancho superior	A	1,5	m
Ancho inferior	B	1,2	m
Altura	H	1,2	m
Longitud	L	9,26	m
Altura de seguridad		0,4	m
<b>PARÁMETROS DE LA CÚPULA</b>			
Radio del semieje mayor	R	0,75	m
Radio del semieje menor.	S	0,46	m
perímetro de la cúpula de polietileno	P	1,95	m
<b>DIMENSIONES DEL TANQUE DE MEZCLA Y SALIDA DEL EFLUENTE FORMA CILINDRICA</b>			
Volumen del tanque de mezcla	$V_{TM}$	0,4	m <sup>3</sup>
Diámetro	$d_t$	1	m
Radio	R	0,5	m
Altura	$h_t$	0,5	m
Altura de seguridad		0,4	m

FUENTE: FANNY PACA

Para la elaboración de planos se toma en cuenta los resultados obtenidos en el cálculo:

En las figuras del Anexo 16, 17, 18, 19, 20, 21, se presentan los planos en donde se detallan los cortes principales del biodigestor.

### 3.10. Estimación del presupuesto de la construcción del biodigestor

Para la implementación de un biodigestor, los costos dependerá de la tecnología que se aplique en él. Comprendiéndose estos: materiales del biodigestor, materiales para instalación, materiales de tanque de carga y descarga, mano de obra. Incluye también gastos de transporte.

En cuanto a materiales indirectos comprende todo lo que es materiales, equipos o accesorios que serán utilizados para la construcción total del biodigestor.

**TABLA 22. COSTO DE LOS MATERIALES DEL BIODIGESTOR DE BOLSA FLEXIBLE**

	<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo unitario</b>	<b>Total</b>
<b>Conducción de biogás</b>	Tubería de PVC de ½ pulgada (20 m)	2	\$ 17	\$ 34
	Codos PVC ½ pulgada	6	\$ 0,40	\$ 2,40
	Llaves de bola ½ pulgada de plástico	6	\$ 4,67	\$ 28,02
	Niple PVC ½ pulgada	4	\$ 0,35	\$ 1,40
	Teflón	2	\$ 0,25	\$ 0,50
	Tee PVC ½ pulgada	4	\$ 0,35	\$ 1,40
<b>Cocina</b>	Codo metálico ½ pulgada	4	\$ 0,40	\$ 1,60
	Tubo metálico ½ pulgada (15 cm)	4	\$ 0,95	\$ 3,80
	Tubo metálico ½ pulgada ( 8 cm)	4	\$ 0,70	\$ 2,80
<b>Biodigestor</b>	Pastico polietileno tubular (300 micrones color negro) (15m)	1	\$ 78,41	\$ 78,41
	Tubería PVC 6 pulgadas (2 m)	1	\$ 6,30/m	\$ 12,60
	Carpa solar (10 m)	1	\$ 3,30/m	\$ 33
<b>COSTO TOTAL</b>				<b>\$ 199,93</b>

FUENTE: FANNY PACA

**TABLA 23. COSTOS DE MATERIALES PARA LOS TANQUES DE CARGA Y DESCARGA.**

Descripción	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Cemento gris de 50 kg	4	\$ 7	\$ 28
Arena	½ volqueta	\$ 25	\$ 25
Ripio	½ volqueta	\$ 35	\$ 35
<b>COSTO TOTAL</b>			<b>\$ 88</b>

FUENTE: FANNY PACA

El requerimiento de un trabajador diario no es del 100% necesario, solo se ha considerado para la construcción del tanque de carga y descarga. Para el efecto se establece el costo para albañil.

**TABLA 24. COSTO DE MANO DE OBRA DIRECTA**

Descripción	Costo total/horas
Albañil	\$ 110

FUENTE: FANNY PACA

Los gastos logísticos, el transporte para la adquisición de materiales y accesorios.

**TABLA 25. GASTOS DE TRANSPORTE**

Descripción	Cantidad	Costo total
Transporte de materiales	2	\$ 20

FUENTE: FANNY PACA

**TABLA 26. COSTO TOTAL DEL PROYECTO**

Ítem	Descripción	Costo total
1	Materiales del biodigestor	\$ 199,93
2	Materiales de tanque de carga y descarga	\$ 88
3	Mano de obra	\$ 110
4	Transporte	\$ 20
<b>COSTO TOTAL</b>		<b>\$ 417,93</b>

FUENTE: FANNY PACA

### 3.11. Ingresos

El dinero que se ahorraría con la implementación del biodigestor, en cuanto al consumo de combustible:

**TABLA 27. FACTURA POR COMBUSTIBLE**

Precio m <sup>3</sup> GLP	\$ 2,80
Facturación mensual por familia	\$ 5,60
Facturación anual por familia	\$ 67,20
Facturación anual de las 2 familias	\$ 134,4

FUENTE: FANNY PACA

### 3.12. Ahorro en la tala de árboles

A nivel mundial se estima que son 2 mil millones de personas las que se alimentan con comida cocinada con leña, representado un problema ambiental muy grave.

Cada familia consume un promedio de 2,8 toneladas de madera al año, las cuales pueden ser sustituidas con la utilización del biogás. De este modo las dos familias podrían ahorrar, aproximadamente 5,6 toneladas de madera al año. La sustitución de biogás por leña, además de ser favorable para la conservación del medio ambiente, también es de gran beneficio para la salud de las personas que diariamente están expuestas al humo que produce la leña.

## CAPÍTULO IV

### 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1. CONCLUSIONES

- La caracterización físico-química del estiércol vacuno, procedente de la granja Quilotuña de la comunidad Shobol Llin llin, dio los siguientes valores promedios: un pH óptimo, sulfuros 67.1 mg/L, DQO 12625 mg/L, DBO5 8610 mg/L, solidos suspendidos 802,6 mg/L, solidos volátiles 507 mg/L, sólidos totales 9.52%, ceniza 2.89 % y humedad 88.08 %, concentraciones aceptables para obtener biogás y bioabono.
- El levantamiento topográfico el cual se encuentra en coordenadas UTM 745680E y 9822860N, a una altura de 3229 m.s.n.m., indica que es factible construir el biodigestor de bolsa flexible a 15 m de la casa, por ser un lugar plano, expuesto a los rayos del sol, despejado de árboles, se encuentra cerca de la materia prima y viviendas para disminuir gastos en tuberías de conducción de biogás.
- El estudio determina que el “biodigestor de bolsa flexible” es óptimo para implementarse en este lugar, ocupará un área total de 24.68 m<sup>2</sup>, con un volumen total de 20 m<sup>3</sup>, se ajustará a una zanja de 9.26 m de longitud, una altura total de 1.6 m y perímetro de cúpula 1.95 m. El tanque de carga y descarga forma cilíndrica, cada uno con una altura total de 0.9 m y 1 m de diámetro. Con una producción de 4,42 m<sup>3</sup> biogás/día, valor que solventará la demanda de consumo de combustible de 1,2 m<sup>3</sup> de biogás al día, de las dos familias de la granja Quilotuña de la comunidad Shobol Llin llin.

- La familia rural se podría beneficiar con esta tecnología tanto por la producción de gas a bajo costo, como por la obtención de fertilizantes para uso agrícola, con una producción de bioabono de 326,36 kg/día y así disminuir los impactos ambientales negativos afectados a las componentes aire, suelo y agua.

#### **4.2. RECOMENTACIONES**

- ❖ Para la implementación del biodigestor de bolsa flexible es necesario que la temperatura ambiente permanezca estable, por lo que se recomienda la construcción de zanjas de tapias en forma de V y una carpa solar que cubra el biodigestor.
- ❖ Se recomienda la difusión técnica del biodigestor, para que sea conocida y comprendida por toda la población, en especial la rural.

## CAPÍTULO V

### 5. RESUMEN

Se diseñó el “biodigestor de bolsa flexible” para la producción de biogás, con los excrementos de la ganadería en la granja Quilotuña de la comunidad Shobol Llin llin, parroquia San Juan, cantón Riobamba.

Aplicando la metodología cuantitativa, se efectuó: La cantidad de carga diaria. Mediante los análisis físicos-químicos se determinó la calidad del estiércol, para generar biogás. Empleando el método descriptivo se realizó un estudio de línea base Ambiental. La topografía permitió limitar un lugar apropiado para la posterior construcción del biodigestor. El dimensionado se efectuó aplicando fórmulas, ecuaciones geométricas para obtener los respectivos planos. En la investigación se usó materiales como: estación meteorológica portátil, GPS, software de diseño AutoCAD 2012.

Obteniéndose dimensiones del biodigestor: Con un volumen total de  $20 \text{ m}^3$ , ocupando una fase líquida de  $15 \text{ m}^3$ , una fase gaseosa del  $5 \text{ m}^3$ . Se ajustará a una zanja de 9.26 m de longitud, una altura total de 1.6 m y perímetro de cúpula 1.95 m. El tanque de carga y descarga forma cilíndrica, cada uno con una altura total de 0.9 m y 1 m de diámetro.

Esta tecnología no constituye un gasto, sino una inversión que traerá a mediano y largo plazo grandes beneficios económicos y ambientales. Con una producción de biogás de  $4.42 \text{ m}^3/\text{día}$ , valor que solventa las necesidades energéticas del lugar y una producción de bioabono de  $326,36 \text{ kg}/\text{día}$ , para uso agrícola.

Se recomienda la difusión técnica del biodigestor, para que sea conocida y comprendida por toda la población, en especial la rural.



## 5.1. ABSTRACT

A “Flexible Biogas digester bag” was designed for the biogas production with the cattle manure in the Quilotuña farm from Shobol Llin llin community, San Juan parish Riobamba canton.

Applying the quantitative methodology, it was developed: The daily load amount, through physical-chemical analysis the quality of manure was determined, to generate biogas. Using the descriptive method an environmental baseline study was carried out.

The topography allowed limiting an appropriate place for late biogas digester construction. The dimensions were carried out applying formulas geometric equations to obtain the respective plans. In the research materials were used such as: a portable weather station, GPS device, AutoCAD 2012 design software.

Obtaining the biogas digester dimensions: with a total volume of  $20 \text{ m}^3$ , occupying a liquid phase of  $15 \text{ m}^3$ , a gas phase of  $5 \text{ m}^3$ . Adjusted to 9.26 meter long trench, a total height of 1.6 meter and a dome perimeter of 1.95 meter. The loading and unloading tank with a cylindrical in shape, each one with a total height of 0.9 meter and 1 meter diameter.

This technology does not constitute an expense, but an investment that will bring long and medium term economic and environmental benefits. With a biogas production of  $4.42 \text{ m}^3/\text{day}$ , value that responds the energy demands for the place and a Bio-fertilizers production of  $326.36 \text{ kg}/\text{day}$ , for agricultural use.

It is recommended the biogas digester technical promotion, in order to be considered and understood by all population, especially in rural areas.

## **CAPÍTULO VI**

### **BIBLIOGRAFÍA**

1. **BERMÚDEZ, J. y OTROS.**, La Digestión Anaerobia., s. ed., Murcia-España., Universidad de Murcia., 1988., Pp. 13,17-19.
2. **CASTELLS, X.**, Tratamiento y Valorización Energética de Residuos., s. ed., Madrid-España., Díaz de Santos., 2005., Pp. 95.
3. **CASTELLS, X.**, Aprovechamiento de residuos Agrícolas y Forestales: Reciclaje de residuos industriales., s. ed., Madrid-España., Díaz de Santos., 2012., Pp.726.
4. **CHÁVEZ, R y OTROS.**, Biodigestores y el protocolo de Kyoto., 1<sup>ra</sup> ed., Lima., Norma., 2007., Pp. 9-11, 38-40.
5. **CHAÚR, J.**, El biogás., s. ed., Bogotá-Colombia., Produmedios., 2001., Pp. 23.

6. **HERRERO, M.**, Biodigestores familiares: Guía de diseño y Manual De Instalación de biodigestores familiares., s. ed., Bolivia., Gtz-Energía., 2008., Pp. 15, 27-33.
7. **HILBERT, J.**, Manual para la producción de Biogás., s. ed., España., Instituto de Ingeniería Rural I.N.T.A.–Castelar., 2004., Pp. 45-49.
8. **MORENO, J.**, Compostaje., 1<sup>ra</sup> ed., Madrid., Mundi-Prensa Libros., 2007., Pp. 13.
9. **PALOMINO, S.**, Manual de granja integral Autosuficiente.,1<sup>ra</sup> ed., Bogotá D.C.-Colombia., San Pablo., 2004., Pp. 193.
10. **VARNERO, M.**, Manual de biogás: Proyecto CHI/00/G32., s. ed., Santiago de Chile., 2011., Pp. 35-45, 47-48, 99, 107.
11. **CARRILLO L.**, Microbiología Agrícola., s.ed., Salta-Argentina., Universidad Nacional de Salta., 2003., Pp. 6., E-Book: <http://www.unsa.edu.ar/matbib>.
12. **VV.AA. , INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACION PARA Y AHORRO DE ENERGÍA, BESEL.**, Biomasa: Digestores anaerobio., s. ed., Madrid-España., IDAE., 2007., Pp. 15-17., E-Book: [http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos\\_10737\\_Biomasa\\_digestores07\\_a996b846.pdf](http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos_10737_Biomasa_digestores07_a996b846.pdf)

13. **UPME.,** Documento ANC-0603-19-01: Guía para implementación de Sistemas de producción de biogás., Versión 01., Bogotá D.C-Colombia., Unión temporal ICONTEC-AENE., 2003., Pp. 18-20.
  
14. **MONAR, U.,** Diseño de un Biodigestor para una Finca del Recinto San Luís de las Mercedes del Cantón Las Nave–Provincia De Bolívar., Tesis Ing. Mecánica., Guayaquil. Escuela Superior Politécnica del Litoral., Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción., Pp. 15.
  
15. **BIODIGESTOR DE BAJO COSTO.**  
<http://bio-digestores.blogspot.com/2012/06/tiposdebiodigestores.html>  
(2013-01-07)
  
16. **BIOMASA: DIGESTORES ANAEROBIOS.**  
[http://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/sites/default/files/1\\_a\\_biomasa\\_en\\_andalucia\\_0.pdf](http://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/sites/default/files/1_a_biomasa_en_andalucia_0.pdf)  
(2013-06-07)
  
17. **BIOGÁS EN ECUADOR.**  
<http://www.lrrd.org/lrrd21/9/pogg21152.htm>  
(2013-01-07)
  
18. **BIOGÁS**  
<http://www.slideshare.net/sortizrodriguez/biogas-15251329>  
(2013-01-07)
  
19. **CONSTRUCCIÓN DE UN BIODIGESTOR CASERO PARA LA OBTENCIÓN DE BIOGÁS.**  
[http://www.naturalenergy.es/joomla/index.php?option=com\\_content&view=article&id=55&Itemid=59](http://www.naturalenergy.es/joomla/index.php?option=com_content&view=article&id=55&Itemid=59)  
(2013-01-12)

20. **ENERGIAS ALTERNATIVAS**  
<http://www.emison.com/biogas.htm>  
(2013-01-28)
  
21. **ENERGÍAS RENOVABLES**  
[http://www.renenergyobservatory.org/uploads/  
media/Ecuador\\_Producto\\_1\\_y\\_2\\_Esp\\_.pdf](http://www.renenergyobservatory.org/uploads/media/Ecuador_Producto_1_y_2_Esp_.pdf)  
(2013-01-28)
  
22. **ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL**  
[http://prezi.com/1-c9bwgzlyyi/estudio-de-impacto-ambiental-  
biotecnologia-ambiental/](http://prezi.com/1-c9bwgzlyyi/estudio-de-impacto-ambiental-biotecnologia-ambiental/)  
(2013-01-07)
  
23. **ESTIÉRCOL**  
[http://aefa-agronutrientes.org/glosario-de-terminos-utiles-en-  
agronutricion/estiercol](http://aefa-agronutrientes.org/glosario-de-terminos-utiles-en-agronutricion/estiercol)  
(2013-10-02)
  
24. **GENERACIÓN DE BIOGÁS.**  
[http://www.idae.es/index.php/mod.documentos  
/memdescarga?file=/documentos1227\\_e16\\_biogas\\_  
db43a675.pdf](http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/memdescarga?file=/documentos1227_e16_biogas_db43a675.pdf)  
(2013-01-07)
  
25. **INNOVACIÓN PARA LA COOPERACIÓN Y DESARROLLO SUR-SUR.**  
[http://www.ideassonline.org/public/pdf/BrochureBiodigestoresESP.  
pdf.](http://www.ideassonline.org/public/pdf/BrochureBiodigestoresESP.pdf)  
(2013-01-25)

26. **MATRIZ CAUSA-EFECTO**  
<http://www.fi.unsj.edu.ar/departamentos/DptoCivil/gcuencas/impacto/matriz.pdf>  
(2013-01-07)
  
27. **PROCESO DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS**  
<http://engquimicasantosp.blogspot.com/2012/07/biodigestores.html>  
(2013-01-07)
  
28. **PRODUCCIÓN DE BIOGÁS.**  
<http://www.planthogar.net/encyclopedia/jump.asp?doc=00000293.htm>  
(2013-01-07)
  
29. **SITUACIÓN Y POTENCIAL DE GENERACIÓN DE BIOGÁS.**  
<http://vidaverde.about.com/od/Energias-renovables/tp/Tipos-DeBiodigestores-Y-Sus%20Disenos.htm>  
(2013-01-07)
  
30. **INSTALACIÓN DEL BIODIGESTOR**  
[http://sistemabiobolsa.com/wpcontent/uploads/2013/08/MdeInstalacion\\_SBB\\_080813.pdf](http://sistemabiobolsa.com/wpcontent/uploads/2013/08/MdeInstalacion_SBB_080813.pdf)  
(2013-11-20)
  
31. **SÓLIDOS TOTALES**  
<http://www.mailxmail.com/curso-produccion-biogas-construccion-biodigestor/biogas-produccion-diaria>  
(2013-11-20)
  
32. **TECNOLOGÍAS LIMPIAS.**  
[http://www.tecnologiaslimpias.cl/ecuador/ecuador\\_mamb.html](http://www.tecnologiaslimpias.cl/ecuador/ecuador_mamb.html)  
(2013-01-28)

33. **TIPOS DE BIODIGESTORES.**

<http://www.buenastareas.com/ensayos/TiposDeBiodigestores/3610907.html>  
(2013-01-07)

34. **USOS DEL BIOGÁS.**

[http://www.rlc.fao.org/fileadmin/content/publicaciones/manual\\_bio\\_gas.pdf](http://www.rlc.fao.org/fileadmin/content/publicaciones/manual_bio_gas.pdf)  
(2013-06-07)

35. **VENTAJAS DEL BIOGÁS.**

[http://www.aacporcinos.com.ar/articulos/internacionales\\_porcinas\\_01-2011\\_beneficios\\_en\\_el\\_uso\\_de\\_biodigestores.html](http://www.aacporcinos.com.ar/articulos/internacionales_porcinas_01-2011_beneficios_en_el_uso_de_biodigestores.html)  
(2013-06-07)

36. **VENTAJAS DE LA CAPACIDAD DE CARGA**

[http://avalon.cuautitlan2.unam.mx/vaquillas/manuales/manual\\_pastoreo.pdf](http://avalon.cuautitlan2.unam.mx/vaquillas/manuales/manual_pastoreo.pdf)  
(2013-11-07)

## CAPÍTULO VII

### ANEXOS

#### ANEXO 1: UBICACIÓN DEL LUGAR DE ESTUDIO



Propiedad granja Quilotuña



Corral de la granja Quilotuña

Ganado en pastoreo



**ANEXO 2: UBICACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA INDIRECTA-  
COMUNIDAD SHOBOL LLIN LLIN**



**ANEXO 3: DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE CARGA**



Número de cuadrantes trazados en la diagonal



Cuadrante

Corte del pasto dentro del cuadrante



Corte del pasto en el cuadrante



Peso del pasto

#### **ANEXO 4: CONTAMINACIÓN PRODUCTO DEL MAL MANEJO DEL ESTIÉRCOL**



Acumulación del estiércol



Contaminación por moscas



Compactación del suelo



Uso y quema de la leña para la cocción de alimentos

## ANEXO 5: MATERIALES USADOS



## ANEXO 6: DETERMINACIÓN DE LA CARGA DIARIA DEL ESTIÉRCOL



Recolección de estiércol diario



Peso del estiércol recolectado

## ANEXO 7: PREPARACIÓN DE LA DILUCIÓN



Peso del estiércol para la dilución

Dilución 1:3

## ANEXO 8: MEDICIÓN DE LOS PARÁMETROS IN-SITU



Toma de la temperatura del estiércol

Toma de pH



Valores del pH

## ANEXO 9: RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA PARA LOS ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS DEL ESTIÉRCOL



Recolección de la muestra de estiércol en seco



Recolección de la muestra en dilución



Recipientes estériles con muestras de estiércol

**ANEXO 10: TOMA DE DATOS CON LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA**



**ANEXO 11: LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO CON GPS**



**ANEXO 13: DATOS CLIMATOLÓGICOS DE MEDIA DÉCADA**

Prom. Meses	Velocidad viento (0-30 m superficie tierra) m/s	V. viento (20 m superficie tierra) m/s	V. viento (40 m superficie tierra) m/s	Precipitación (0-10) Pulgadas	Dirección viento (0-360) grados	Temperatura (0-50)°C	Radiación solar (0-1500) watts/m <sup>2</sup>	Presión atmosférica (0-1200) milibares	Humedad (0-100) %
<b>2007</b>									
Junio	2,2199	2,1995	2,1270	0,0003	265,1511	11,8270	188,4916	768,4420	80,9976
Julio	2,6383	2,6055	2,4478	0,0003	223,7957	12,7441	255,4785	768,4760	71,5612
Agosto	2,5077	2,5425	2,3104	0,0005	245,2047	12,3015	230,2201	768,4309	74,1479
Septiembre	2,5033	2,3297	2,3079	0,0000	246,4653	12,2464	209,1603	768,4693	73,4862
Octubre	1,9886	1,8424	1,8300	0,0007	228,8392	13,4558	222,5027	768,3388	74,6093
Noviembre	2,2807	2,1895	2,0711	0,0004	231,5970	13,6170	218,2760	768,2545	75,9168
Diciembre	2,1970	2,0081	1,9050	0,0003	233,3732	13,4922	197,1561	768,2849	72,8755
<b>2008</b>									
Enero	2,4964	2,2109	2,2050	0,0128	247,8650	13,8268	206,9857	768,2542	74,8847
Febrero	1,9984	1,8831	1,7907	0,0007	234,7744	13,2518	196,4207	768,3515	77,6537
Marzo	1,5978	1,4909	1,4095	0,0007	202,3801	12,7935	194,7931	768,3515	79,2809



Julio	4,0077	3,7833	3,3551	0,0009	238,6154	16,5051	375,0000	768,2679	57,3795
Agosto	2,4172	2,2452	2,1064	0,0002	244,3589	12,1991	210,5858	768,3959	72,4398
Septiembre	2,5306	2,4579	2,2079	0,0002	245,7558	13,0002	220,8910	768,4347	70,8153
Octubre	2,1360	2,0189	1,8847	0,0007	230,1113	13,4619	201,2315	768,4099	73,7493
Noviembre	1,7844	1,6813	1,5492	0,0009	211,6454	13,8895	182,3194	768,3310	73,2349
<b>2009</b>									
Enero	1,9611	1,8474	1,7049	0,0005	253,3015	13,5450	190,0442	768,3565	76,6444
Febrero	2,0622	1,9095	1,8418	0,0006	246,6818	13,3211	188,4997	768,3021	75,2830
Marzo	2,3177	2,0602	2,0209	0,0002	246,7556	14,3917	228,9927	768,3036	69,2390
Abril	2,1843	1,9851	1,9209	0,0002	233,9317	14,1075	208,7574	768,4031	68,8888
Mayo	2,2772	2,0837	1,9761	0,0003	234,1138	13,8814	206,4369	768,4189	67,2891
Junio	2,3949	2,1475	2,1347	0,0003	248,8336	13,2291	196,5870	768,4461	69,2714
Julio	2,8196	2,5148	2,4328	0,0001	236,7529	12,9344	225,4425	768,4247	65,3953
Agosto	2,9483	2,6266	2,5759	0,0000	240,1823	13,2845	226,5185	768,4021	62,1821
Septiembre	3,2227	3,0850	2,9004	0,0000	223,7319	13,2788	256,2870	768,4328	55,8897
Octubre	2,4178	2,2208	2,1011	0,0004	238,1604	14,4434	232,9547	768,3268	61,8727
Noviembre	2,5364	2,3533	2,2033	0,0002	224,4988	14,9102	236,5526	768,2579	55,4169

Diciembre	2,4275	2,2520	2,1228	0,0003	245,3846	15,0841	226,6801	768,3083	60,0405
<b>2010</b>									
Enero	2,8134	2,5626	2,3593	0,0000	247,4371	14,3302	213,3033	768,3110	57,6867
Febrero	2,7218	2,4372	2,1836	0,0003	249,4906	15,0904	202,1295	768,3396	60,7873
Marzo	2,6436	2,3528	2,2133	0,0003	249,1057	15,0821	232,6826	768,3955	59,6524
Abril	2,1141	1,9196	1,6745	0,0007	249,7299	14,6988	213,7059	768,4439	66,6640
Mayo	2,0879	1,8753	1,6352	0,0006	238,7072	14,6101	200,9750	768,4767	63,8587
Junio	2,0982	1,8389	1,6543	0,0005	256,1725	13,1734	189,4044	768,5334	66,0689
Julio	2,1863	1,9600	1,7507	0,0004	232,4763	13,3220	222,5071	768,4794	59,7999
Agosto	2,3774	2,1547	1,9424	0,0001	239,1985	12,1692	206,1593	768,5004	56,7978
Septiembre	2,3909	2,2301	1,9911	0,0002	228,2412	13,0148	231,6784	768,4289	52,6431
Octubre	2,2196	2,1361	1,8704	0,0006	217,0791	13,8815	234,3908	768,3863	52,0492
Noviembre	1,8345	1,7428	1,5228	0,0010	209,7345	13,6945	210,9536	768,2917	54,4497
Diciembre	1,9644	1,7198	1,5947	0,0008	233,0240	13,7774	190,8474	768,2438	56,4723
<b>2011</b>									
Enero	2,2157	2,1634	1,9173	0,0004	222,5188	13,5782	223,3204	768,2262	52,5792
Febrero	1,8401	1,7427	1,5470	0,0014	232,9834	13,8133	203,6729	768,3014	57,1068

Marzo	2,1891	2,0878	1,7935	0,0003	211,9099	13,9435	240,6551	768,3009	45,8966
Abril	1,8199	1,7397	1,5403	0,0019	237,7770	13,7871	214,8170	768,3621	57,6247
Junio	2,3047	2,2789	2,1349	0,0034	237,5303	12,1828	199,1280	768,3607	46,8547
Julio	2,8750	2,9043	2,5056	0,0027	242,5786	13,2515	248,7799	768,4289	41,6098
Agosto	2,3598	2,3621	2,0827	0,0054	240,0847	12,7907	210,7295	768,4739	43,4422
Septiembre	2,3097	2,2824	2,0827	0,0029	219,7274	14,4174	247,0233	768,3110	35,6637
Octubre	1,9491	1,9725	1,6934	0,0089	200,3118	14,1175	236,6711	768,2936	43,4179
Noviembre	2,1489	2,1482	1,8679	0,0019	235,6154	13,9621	204,9928	768,2798	45,2561
<b>2012</b>									
Enero	2,1257	2,0459	1,8694	0,0034	247,2662	13,9267	207,7820	768,3130	44,5612
Febrero	1,9435	1,9548	1,8011	0,0015	234,7727	13,2423	187,6329	768,2769	46,0660
Marzo	2,4211	2,3123	2,1017	0,0015	256,0567	13,8825	215,2007	768,3343	42,0907
Abril	1,5154	1,5112	1,0558	0,0015	205,9495	13,7262	113,1594	784,3575	45,7799
Mayo	1,4607	1,4737	0,3000	0,0000	180,0578	13,1567	0,0000	804,2000	40,6521
Junio	1,6569	1,6681	0,3000	0,0000	180,0313	13,1234	0,0000	804,2000	36,6844
Julio	1,7219	1,7350	0,3000	0,0000	180,0188	12,7111	0,0000	804,2000	35,6617
Agosto	1,6535	1,6794	0,3000	0,0000	180,0341	12,5004	0,0000	804,2000	35,8630

Septiembre	1,7325	1,7584	0,3000	0,0000	180,0278	12,6653	0,0000	804,2000	34,1393
Octubre	1,2977	1,3147	0,3000	0,0000	185,6761	14,0922	0,0000	804,2000	38,8903
Noviembre	1,2138	1,2308	0,3000	0,0000	189,3223	14,2645	0,0000	804,2000	37,9697
Diciembre	1,4966	1,5137	0,3000	0,0000	188,3389	14,3512	0,0000	804,2000	30,9659
<b>2013</b>									
Enero	1,7414	1,7523	0,3000	0,0000	187,8591	14,7596	0,0000	804,2000	33,2830
Febrero	1,1747	1,1770	0,3000	0,0000	188,2746	13,8827	0,0000	804,2000	42,5542
Marzo	1,3661	1,3745	0,3000	0,0000	186,1156	14,4525	0,0000	804,2000	36,9521
Mayo	1,1546	1,1717	0,3000	0,0000	181,6173	13,7326	0,0000	804,2000	40,6147
Junio	1,5398	1,5548	0,3000	0,0000	181,5515	13,2395	0,0000	804,2000	35,6165
Julio	1,6254	1,6401	0,3000	0,0000	181,4320	12,4595	0,0000	804,2000	35,6224
Agosto	1,6097	1,6266	0,3000	0,0000	181,4922	12,8339	0,0000	804,2000	34,0228
Septiembre	1,7513	1,7760	0,3000	0,0000	181,5057	13,3777	0,0000	804,2000	30,2230
Octubre	1,5984	1,6270	0,3000	0,0000	181,4167	13,7928	0,0000	804,1923	34,6595

FUENTE: ESTACIÓN METEOROLÓGICA SYMPHONIE DATA RETRIEVER FACULTAD DE CIENCIAS-ESPOCH

Los datos de la siguiente tabla son tomados con la estación meteorológica portátil, por razones que no se encontraron datos del año 2013. Según los datos tomados con la estación meteorológica portátil, en el mes de Noviembre del 2013 se obtuvieron los siguientes promedios: (Ver anexo 3)

**TABLA 28. PARÁMETROS DE MEDICIÓN CON LA ESTACION METEREOLÓGICA PORTÁTIL**

<b>Parámetros en el mes de Noviembre, 2013</b>	<b>Medición Promedio</b>
Velocidad del viento actual	5 m/s
Ráfaga de viento máxima	5,4 m/s
Velocidad del viento media	2,4 m/s
Temperatura aire	14,8 °C
Sensación Térmica	15,4 °C
Temperatura del punto del rocío	14,5°C
Temperatura bulbo húmedo	11 °C
Presión Barométrica	683,5 hPa

FUENTE: FANNY PACA

**ANEXO 14: TIEMPO DE RETENCIÓN EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA AMBIENTE.**

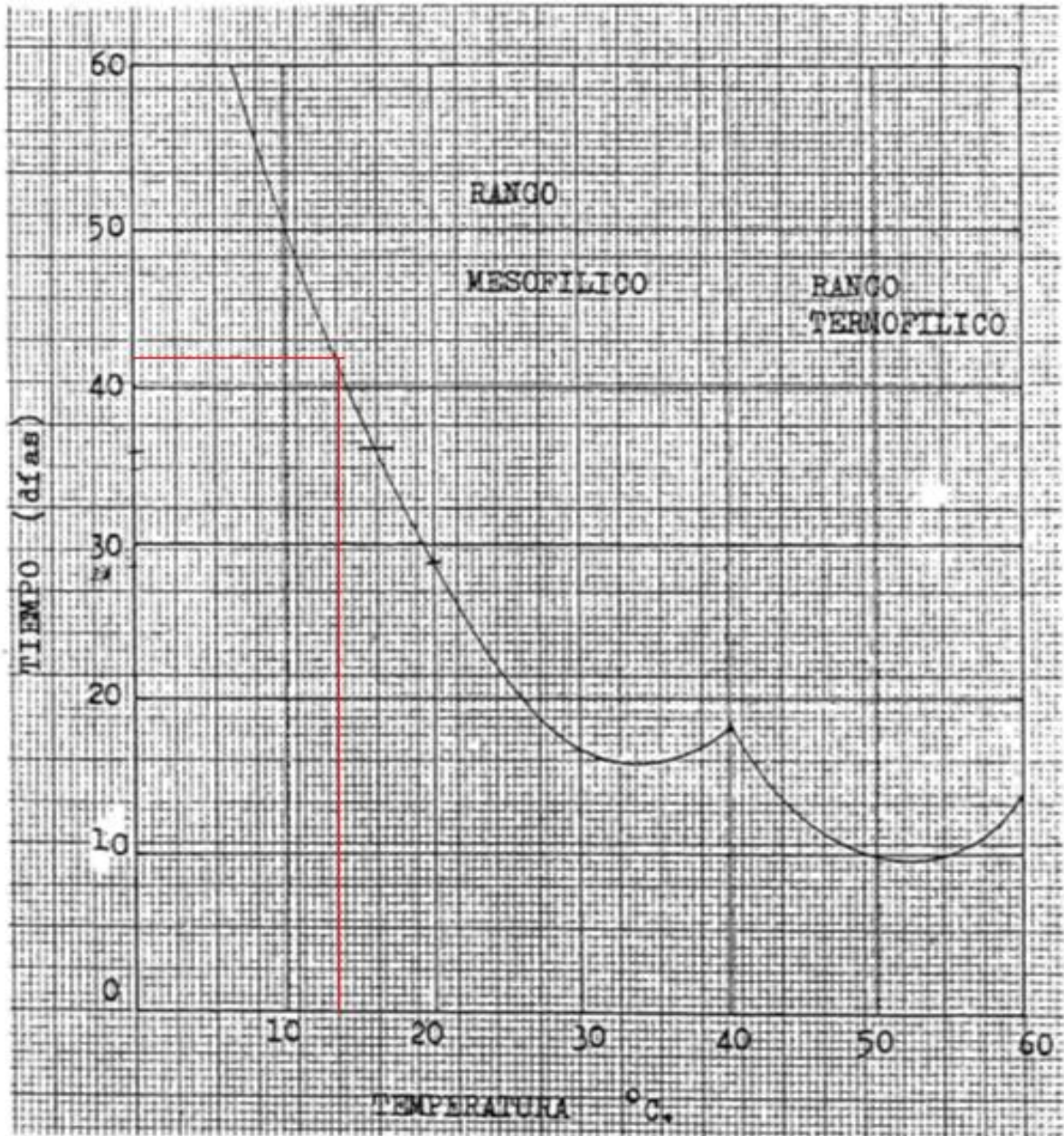


Fig. 2: Tiempo de retención en función de la temperatura de operación.(s)

## ANEXO 15. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS DEL ESTIÉRCOL



### LABORATORIO DE ANÁLISIS TÉCNICOS FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703

Telefax: 2998 200 ext 332

Riobamba - Ecuador

#### INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Srta. Fanny Paca

Fecha de Análisis: 13 de septiembre del 2012

Fecha de Entrega de Resultados: 20 de septiembre de 2012

Tipo de muestras: Estiercol ganado vacuno Diluciones

Localidad: Comunidad Shobol. Parroquia San Juan Cantón Riobamba

#### Análisis Químico

Determinaciones	Unidades	*Método	Dilución 1	Dilución 2	Dilución 3
Sulfuros	mg/L	4500-S-E	21.4	26.8	18.9
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	4,205.0	4660.0	3760.0
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	2,850.0	3260.0	2500
Sólidos en Suspensión	mg/L	2540-D	253.7	278.8	270.1
Sólidos Volátiles	mg/L	2540-C	152.0	187.0	168.0
Sólidos Totales	mg/L	2540-B	31,587.0	31,290.0	32,330.0

\*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

Observaciones:

Atentamente.

Dra. Gina Álvarez R.  
RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS



Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada.



## LABORATORIO DE ANÁLISIS TÉCNICOS

### FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703

Telefax: 2605-912 ext. 163

Riobamba - Ecuador

---

### **INFORME DE ANALISIS QUIMICO DE ALIMENTOS**

*Solicitado por:* Srta. Fanny Paca

*Fecha de análisis:* 13 de septiembre de 2013

*Fecha de entrega de resultados:* 20 de septiembre de 2013

*Tipo de muestra:* Estiercol

*Localidad:* Comunidad Shobol Parroquia San Juan Cantón Riobamba

Determinaciones	Unidades	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Humedad	%	89.8	87.9	86.54
Ceniza	%	2.68	3.19	2.81

Observaciones: Métodos de análisis gravimétricos

ATENTAMENTE

Dra. Gina Álvarez Reyes  
RESPONSABLE LAB. ANALISIS TECNICOS





**ANEXO 16. PLANO BIODIGESTOR VISTA PLANTA.**

**ANEXO 17. PLANO BIODIGESTOR VISTA PERFIL**

**ANEXO 18. PLANO ZANJA CORTE A Y B**

**ANEXO 19. PLANO VISTA FRONTAL DE LA ZANJA Y CÚPULA DEL  
BIODIGESTOR**

**ANEXO 20. PLANO BIODIGESTOR BOLSA FLEXIBLE.**

**ANEXO 21. PLANO TANQUE DE MEZCLA**