



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS**

**“DISEÑO DE UN BIODIGESTOR ANAEROBIO PARA LA  
PRODUCCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE LAS EXCRETAS  
DE GANADO VACUNO, EN LA FINCA LOS LAURELES EN  
LA COMUNIDAD FLOR DEL MANDURO”**

**TESIS DE GRADO**

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:**

**INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL**

**PRESENTADO POR:**

**DARWIN EDUARDO VERDEZOTO CARVAJAL**

**RIOBAMBA - ECUADOR**

## **AGRADECIMIENTO**

*Primeramente a ti Dios por bendecirme durante todo este camino, para llegar hasta donde he llegado, porque hiciste realidad este sueño anhelado.*

*A mis padres América y Ángel, por el sacrificio que hicieron día a día para asegurarme un mejor futuro, darme fuerza para superar obstáculos y por la libertad que me han dado toda la vida. Gracias por la confianza que han tenido en mí.*

*A la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO por darme la oportunidad de estudiar y ser un profesional.*

*A las personas con las que he compartido mi vida universitaria: Andrés, Luis, José, Jorge, Nelson, Eliecer, Yuly, Ely y Marilyn. Gracias por todas las sonrisas, los abrazos, las bromas, momentos difíciles y por todo lo que vivimos juntos.*

*A todos mis profesores y amigos más cercanos por darme su apoyo durante todo este tiempo y sobre todo por brindarme una amistad sincera y leal.*

## **DEDICATORIA**

*A mis padres América y Ángel, quienes supieron guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, porque a pesar de todas las dificultades que hemos pasado, hemos logrado mantenernos juntos con mucho esmero y sacrificio en toda mi etapa estudiantil.*

*A mis amigos y compañeros por todos sus consejos que me incentivaron a seguir adelante, que de una u otra forma dejaron una huella positiva en nuestras vidas y que siempre serán recordadas,*

*A todos los individuos que con acciones individuales o colectivas intentan cambiar la realidad del mundo en que vivimos.*

**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 ANAEROBIO PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE LAS EXCRETAS DE GANADO VACUNO, EN LA FINCA LOS LAURELES EN LA COMUNIDAD FLOR DEL MANDURO**”, de responsabilidad del Egresado Señor Darwin Eduardo Verdezoto Carvajal ha sido prolijamente revisado por los Miembros del Tribunal de Tesis, quedando autorizada su presentación.

| <b>NOMBRE</b>   | <b>FIRMA</b> | <b>FECHA</b> |
|---|--------------|--------------|
| Dr. Silvio Álvarez Luna<br><b>DECANO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS</b>             | _____        | _____        |
| Dra. Nancy Veloz Mayorga<br><b>DIRECTORA DE LA ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS</b> | _____        | _____        |
| Dr. Fausto Yaulema<br><b>DIRECTOR DE TESIS</b>                                  | _____        | _____        |
| Dr. Robert Cazar<br><b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>                                 | _____        | _____        |
| <b>DIRECTOR DEL CENTRO DE DOCUMENTACIÓN</b>                                     | _____        | _____        |
| <b>NOTA DE TESIS ESCRITA</b>  | _____        | _____        |

*YO, Darwin Eduardo Verdezoto Carvajal, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta Tesis; y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado, pertenece a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.*

---

**DARWIN EDUARDO VERDEZOTO CARVAJAL**

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

|                       |   |
|-----------------------|---|
| <b>Ø</b>              | Diámetro Interior                         |
| <b>Ø<sub>e</sub></b>  | Diámetro Exterior                         |
| <b>°C</b>             | Grado Celsius                             |
| <b>A</b>              | Área                                      |
| <b>C</b>              | Porcentaje de carbono en la materia prima |
| <b>C/N</b>            | Relación Carbono-Nitrógeno                |
| <b>Cc</b>             | Colonias de Cf Contadas en la Placa       |
| <b>CD</b>             | Carga Diaria                              |
| <b>CE</b>             | Cantidad de Estiércol                     |
| <b>C<sub>en</sub></b> | Caja de Entrada                           |
| <b>C<sub>ei</sub></b> | Caja de Entrada Interior                  |
| <b>CH<sub>4</sub></b> | Metano                                    |
| <b>CO<sub>2</sub></b> | Dióxido de Carbono                        |
| <b>CO</b>             | Monóxido de Carbono                       |
| <b>C<sub>s</sub></b>  | Caja de Salida                            |
| <b>C<sub>si</sub></b> | Caja de Salida Interior                   |
| <b>Cu</b>             | Cobre                                     |
| <b>e</b>              | Espesor del Hormigón                      |
| <b>EF</b>             | Estiércol Fresco                          |
| <b>f</b>              | Factor de dilución.                       |
| <b>f<sub>1</sub></b>  | Altura de la Cúpula Superior              |
| <b>f<sub>2</sub></b>  | Altura de la Cúpula Inferior              |
| <b>g</b>              | Gramos                                    |
| <b>GLP</b>            | Gas Licuado del Petróleo                  |
| <b>H<sub>2</sub></b>  | Hidrógeno                                 |

|                       |   |
|-----------------------|---|
| <b>H</b>              | Altura                                      |
| <b>H<sub>2</sub>S</b> | Ácido Sulfhídrico                           |
| <b>H<sub>b</sub></b>  | Altura del Borde de la Base                 |
| <b>H<sub>c</sub></b>  | Altura de la Caja                           |
| <b>HCl</b>            | Ácido Clorhídrico                           |
| <b>H<sub>tb</sub></b> | Altura final del biodigestor                |
| <b>H<sub>t</sub></b>  | Altura de la Tubería                        |
| <b>I<sub>o</sub></b>  | Inversión inicial                           |
| <b>K</b>              | C/N de la mezcla de las materias primas     |
| <b>Kg</b>             | Kilogramos                                  |
| <b>Kw/h</b>           | Kilo Watts Hora                             |
| <b>L</b>              | Litros                                      |
| <b>La</b>             | Ancho de la Caja                            |
| <b>LLCE</b>           | Longitud de los Lados de la Caja de Entrada |
| <b>mg</b>             | Miligramos                                  |
| <b>ml</b>             | Mililitros                                  |
| <b>M</b>              | Volumen de Muestra Filtrada                 |
| <b>M.O</b>            | Materia Orgánica                            |
| <b>N</b>              | Normalidad                                  |
| <b>N<sub>2</sub></b>  | Nitrógeno                                   |
| <b>O<sub>2</sub></b>  | Oxígeno                                     |
| <b>P</b>              | Fósforo                                     |
| <b>r</b>              | Radio interior del biodigestor              |
| <b>r<sub>1</sub></b>  | Radio de la Curvatura de la Esfera Superior |
| <b>r<sub>2</sub></b>  | Radio de la Curvatura de la Esfera Inferior |
| <b>SAF</b>            | Sulfato de Amonio Ferroso                   |
| <b>ST</b>             | Sólidos Totales                             |

|                       |  |
|-----------------------|--|
| <b>SV</b>             | Sólidos Volátiles  |
| <b>T</b>              | Temperatura  |
| <b>TIR</b>            | Tasa Interna de Retorno  |
| <b>TR</b>             | Tiempo de Retención  |
| <b>TULSMA</b>         | Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente. |
| <b>VAN</b>            | Valor Actual Neto  |
| <b>V<sub>b</sub></b>  | Volumen de biogás almacenado   |
| <b>V<sub>ci</sub></b> | Volumen de la cúpula Inferior  |
| <b>V<sub>c1</sub></b> | Volumen del Cilindro   |
| <b>V<sub>cs</sub></b> | Volumen de la cúpula Superior  |
| <b>V<sub>fb</sub></b> | Volumen final del biodigestor  |
| <b>V<sub>st</sub></b> | Volumen de Sólidos Totales   |
| <b>V<sub>tb</sub></b> | Volumen del Tanque del biodigestor                                     |
| <b>ZnS</b>            | Sulfuro de Zinc  |



## TABLA DE CONTENIDO

|                              |      |
|------------------------------|------|
| ÍNDICE DE ABREVIATURAS ..... | V    |
| TABLA DE CONTENIDOS .....    | VIII |
| ÍNDICE DE CONTENIDOS .....   | IX   |
| ÍNDICE DE FIGURAS .....      | XIV  |
| ÍNDICE DE TABLAS .....       | XV   |
| ÍNDICE DE ANEXOS .....       | XVII |
| RESUMEN .....                | i    |
| SUMMARY .....                | ii   |
| INTRODUCCIÓN .....           | iii  |
| ANTECEDENTES .....           | iv   |
| JUSTIFICACIÓN .....          | ivi  |
| OBJETIVOS .....              | vii  |
| OBJETIVO GENERAL .....       | vii  |
| OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....  | vii  |

## ÍNDICE DE CONTENIDO

|   |          |
|---|----------|
| <b>CAPÍTULO I.....</b>                                      | <b>1</b> |
| 1. MARCO TEÓRICO.....                                       | 2        |
| 1.1. ESTIÉRCOL .....  | 2        |
| 1.1.1. COMPOSICIÓN DEL ESTIÉRCOL .....                      | 3        |
| 1.2. BIOGÁS .....   | 4        |
| 1.2.1. COMPOSICIÓN DEL BIOGÁS.....                          | 4        |
| 1.2.2. CARACTERÍSTICAS DEL BIOGÁS .....                     | 5        |
| 1.3. METANO.....  | 6        |
| 1.3.1. MICROORGANISMOS QUE NO PRODUCEN METANO .....         | 6        |
| 1.3.2. MICROORGANISMOS PRODUCTORES DE METANO .....          | 7        |
| 1.4. ETAPAS DE LA FERMENTACIÓN METANOGÉNICA .....           | 8        |
| 1.5. FACTORES A CONSIDERAR EN EL PROCESO METANOGÉNICO ..... | 9        |
| 1.5.1. MATERIALES DE CARGA PARA LA FERMENTACIÓN .....       | 9        |
| 1.5.2. RELACIÓN CARBONO-NITRÓGENO (C/N) .....               | 10       |
| 1.5.3. CONCENTRACIÓN DE LA CARGA .....                      | 11       |
| 1.5.4. LA TEMPERATURA .....                                 | 13       |
| 1.5.5. VALOR DEL pH.....                                    | 14       |
| 1.5.6. TIEMPOS DE RETENCIÓN.....                            | 14       |
| 1.5.7. AGITACIÓN – MEZCLADO .....                           | 16       |
| 1.5.8. PROMOTORES E INHIBIDORES DE LA FERMENTACIÓN .....    | 17       |
| 1.6. BIODIGESTORES .....                                    | 18       |
| 1.6.1. HIDRÓLISIS ANAEROBIA .....                           | 19       |

|                          |  |           |
|--------------------------|--|-----------|
| 1.6.2.                   | ENTRADA DEL AFLUENTE.....  | 21        |
| 1.6.3.                   | SALIDA DEL EFLUENTE .....  | 21        |
| 1.6.4.                   | EXTRACCIÓN DE LODOS .....  | 21        |
| 1.6.5.                   | SISTEMA DE GAS.....  | 21        |
| 1.6.6.                   | OBJETIVO DEL BIODIGESTOR.....  | 22        |
| 1.6.7.                   | PROCESOS DENTRO DEL BIODIGESTOR .....  | 23        |
| 1.6.8.                   | VENTAJAS DE UN BIODIGESTOR .....   | 23        |
| 1.6.9.                   | DESVENTAJAS Y RIESGOS DE UN BIODIGESTOR .....                                    | 24        |
| 1.7.                     | CRITERIOS A CONSIDERAR EN EL DISEÑO DE UN BIODIGESTOR: .....                     | 25        |
| 1.8.                     | CLASIFICACIÓN DE LOS DIGESTORES .....  | 26        |
| 1.8.1.                   | SISTEMAS BATCH O DISCONTINUOS .....  | 26        |
| 1.8.2.                   | SISTEMAS SEMICONTINUOS .....   | 26        |
| 1.8.3.                   | SISTEMAS CONTINUOS.....  | 27        |
| 1.9.                     | TIPOS DE BIODIGESTORES .....   | 28        |
| 1.10.                    | ESTRUCTURA DE UN BIODIGESTOR: .....  | 30        |
| 1.10.1.                  | INVERSIÓN PARA UN BIODIGESTOR: .....   | 31        |
| 1.11.                    | USOS DE BIOGÁS Y BIOL (FERTILIZANTE) .....                                       | 31        |
| 1.12.                    | MARCO LEGAL.....   | 33        |
| 1.12.1.                  | CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR.....                                    | 33        |
| 1.12.2.                  | DERECHOS DE LA NATURALEZA .....  | 33        |
| 1.12.3.                  | TEXTO UNIFICADO DE LA LEGISLACIÓN AMBIENTAL<br>SECUNDARIA LIBRO VI ANEXO 1. .... | 34        |
| <b>CAPÍTULO II .....</b> |  | <b>39</b> |
| 2.                       | PARTE EXPERIMENTAL .....   | 40        |

|  |           |
|--|-----------|
| 2.1. DETERMINACIÓN DE LA CARGA DIARIA DE ESTIÉRCOL EN LA FINCA<br>LOS LAURELES ..... | 40        |
| 2.2. MUESTREO .....  | 41        |
| 2.3. METODOLOGÍA .....   | 42        |
| 2.4. MÉTODOS Y TÉCNICAS .....  | 43        |
| 2.4.1. DETERMINACIÓN DE POTENCIAL DE HIDROGENO (pH).....                             | 43        |
| 2.4.2. DETERMINACIÓN DE LA TEMPERATURA.....  | 44        |
| 2.4.3. DETERMINACIÓN DE CENIZA.....  | 45        |
| 2.4.4. DETERMINACIÓN DE HUMEDAD.....   | 46        |
| 2.4.5. DETERMINACIÓN DE SULFUROS.....  | 47        |
| 2.4.6. DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS TOTALES.....   | 48        |
| 2.4.7. DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS VOLÁTILES.....                                       | 50        |
| 2.4.8. DETERMINACIÓN DE DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO<br>(DBO <sub>5</sub> ) .....   | 51        |
| 2.4.9. DETERMINACIÓN DE DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)....                         | 53        |
| 2.4.10. COLIFORMES TOTALES Y FECALES.....  | 55        |
| 2.5. DATOS EXPERIMENTALES .....  | 57        |
| 2.5.1. SELECCIÓN DEL MODELO DEL BIODIGESTOR.....                                     | 57        |
| 2.5.2. MATRIZ DE DECISIÓN.....   | 58        |
| 2.5.3. DIMENSIONAMIENTO DEL BIODIGESTOR.....   | 58        |
| 2.5.4. CÁLCULOS DEL DIMENSIONAMIENTO DEL BIODIGESTOR.....                            | 59        |
| 2.5.5. ELABORACIÓN DE PLANOS.....  | 59        |
| <b>CAPÍTULO III.....</b>   | <b>60</b> |
| 3. LÍNEA DE INVESTIGACIÓN .....  | 61        |

|   |    |
|---|----|
| 3.1. RESULTADOS .....   | 61 |
| 3.2. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS FÍSICO, QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS DE LAS MUESTRAS DE ESTIÉRCOL PRE Y POST DEGRADACIÓN..... | 61 |
| 3.2.1. POTENCIAL DE HIDROGENO (pH) .....  | 61 |
| 3.2.2. TEMPERATURA.....   | 63 |
| 3.2.3. SÓLIDOS TOTALES .....  | 64 |
| 3.2.4. SÓLIDOS VOLÁTILES .....  | 66 |
| 3.2.5. HUMEDAD.....   | 68 |
| 3.2.6. CENIZA .....   | 70 |
| 3.2.7. DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO) .....   | 71 |
| 3.2.8. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO <sub>5</sub> ) .....  | 73 |
| 3.2.9. SULFUROS.....  | 74 |
| 3.2.10. COLIFORMES TOTALES Y FECALES.....   | 76 |
| 3.3. MATRICES PARA LA SELECCIÓN DEL TIPO DE BIODIGESTOR .....   | 79 |
| 3.4. CÁLCULOS PARA EL DIMENSIONAMIENTO DEL BIODIGESTOR.....   | 80 |
| 3.4.1. CANTIDAD DE ENERGÍA QUE NECESITA MENSUALMENTE LA FINCA LOS LAURELES. ....  | 81 |
| 3.4.2. CANTIDAD DE BIOGÁS DIARIO QUE PRODUCE LA FINCA.....  | 82 |
| 3.4.3. CAJA DE ENTRADA DEL BIODIGESTOR .....  | 84 |
| 3.4.4. VOLUMEN DEL TANQUE DEL BIODIGESTOR .....   | 86 |
| 3.4.5. DIÁMETRO DEL BIODIGESTOR.....  | 86 |
| 3.4.6. RADIO DEL BIODIGESTOR.....   | 88 |
| 3.4.7. ALTURA DEL TANQUE BIODIGESTOR .....  | 88 |
| 3.4.8. CURVATURA DE LA CÚPULA SUPERIOR .....  | 89 |

|                          |  |            |
|--------------------------|--|------------|
| 3.4.9.                   | RADIO DE LA CURVATURA DE LA ESFERA SUPERIOR .....  | 90         |
| 3.4.10.                  | VOLUMEN DE LA CÚPULA SUPERIOR .....  | 90         |
| 3.4.11.                  | CURVATURA DE LA CÚPULA INFERIOR .....  | 91         |
| 3.4.12.                  | RADIO DE LA CURVATURA DE LA ESFERA INFERIOR .....  | 91         |
| 3.4.13.                  | VOLUMEN DE LA CÚPULA INFERIOR .....  | 92         |
| 3.4.14.                  | VOLUMEN DEL CILINDRO .....   | 92         |
| 3.4.16.                  | VOLUMEN FINAL DEL BIODIGESTOR .....  | 93         |
| 3.4.17.                  | CAJA DE SALIDA DEL BIODIGESTOR .....   | 94         |
| 3.4.18.                  | ALTURA DE LA TUBERÍA EN EL BIODIGESTOR PARA CONDUCIR<br>LA CARGA DIARIA Y SALIDA DE LA MISMA. .... | 95         |
| 3.4.19.                  | TUBERÍA QUE CONDUCIRÁ LA CARGA DIARIA DE ESTIÉRCOL AL<br>BIODIGESTOR .....                         | 97         |
| 3.4.20.                  | TUBERÍA QUE CONDUCIRÁ EL BIOGÁS .....  | 97         |
| 3.4.21.                  | COMPUERTA DE LIMPIEZA .....  | 97         |
| 3.5.                     | RESUMEN DE LAS DIMENSIONES DEL BIODIGESTOR .....   | 98         |
| <b>CAPÍTULO IV .....</b> |  | <b>104</b> |
| 4.                       | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....   | 105        |
| 4.1.                     | CONCLUSIONES .....   | 105        |
| 4.2.                     | RECOMENDACIONES .....  | 106        |
| <b>CAPÍTULO V .....</b>  |  | <b>107</b> |
| 5.                       | BIBLIOGRAFÍA: .....  | 108        |
| ANEXOS .....             |  | 114        |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                   |   |    |
|-------------------|---|----|
| <b>FIGURA 1:</b>  | Etapas de la Fermentación Metanogénica .....                                    | 9  |
| <b>FIGURA 2:</b>  | Producción de Biogás en Función de la Temperatura .....                         | 16 |
| <b>FIGURA 3:</b>  | Fase de Fermentación Anaerobia .....  | 20 |
| <b>FIGURA 4:</b>  | Biodigestor de pozo séptico poner cuadro .....                                  | 28 |
| <b>FIGURA 5:</b>  | Biodigestor HINDÚ .....   | 29 |
| <b>FIGURA 6:</b>  | Biodigestor CHINO .....   | 29 |
| <b>FIGURA 7:</b>  | Biodigestor de estructura flexible .....  | 30 |
| <b>FIGURA 8:</b>  | Usos y Aplicaciones del Biogás y Bioabono .....                                 | 32 |
| <b>FIGURA 9:</b>  | Comparación de pH pre y post Degradación del Estiércol .....                    | 62 |
| <b>FIGURA 10:</b> | Comparación de Temperatura pre y post Degradación del Estiércol .....           | 64 |
| <b>FIGURA 11:</b> | Comparación Sólidos Totales de pre y post Degradación del Estiércol ...         | 66 |
| <b>FIGURA 12:</b> | Comparación Sólidos Volátiles de pre y post Degradación del Estiércol           | 68 |
| <b>FIGURA 13:</b> | Comparación de Humedad de pre y post Degradación del Estiércol .....            | 69 |
| <b>FIGURA 14:</b> | Comparación de Ceniza de pre y post Degradación del Estiércol .....             | 71 |
| <b>FIGURA 15:</b> | Comparación de DQO pre y post Degradación del Estiércol .....                   | 72 |
| <b>FIGURA 16:</b> | Comparación de DBO5 pre y post Degradación del Estiércol .....                  | 74 |
| <b>FIGURA 17:</b> | Comparación de Sulfuros pre y post Degradación del Estiércol .....              | 75 |
| <b>FIGURA 18:</b> | Comparación de Coliformes Totales pre y post Degradación del Estiércol<br>..... | 77 |
| <b>FIGURA 19:</b> | Comparación de Coliformes Fecales pre y post Degradación del<br>Estiércol ..... | 78 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|                     |  |    |
|---------------------|--|----|
| <b>TABLA I:</b>     | Composición media de estiércoles frescos de diferentes animales domésticos (como porcentaje de la materia seca). ....              | 3  |
| <b>TABLA II:</b>    | Composición del biogás .....   | 5  |
| <b>TABLA III:</b>   | Rendimiento de biogás.....   | 6  |
| <b>TABLA IV:</b>    | Clasificación de las Methanobactérias (bacht, 1979) .....  | 8  |
| <b>TABLA V:</b>     | Relación Carbono - Nitrógeno De Las Materias Primas empleadas .....  | 10 |
| <b>TABLA VI:</b>    | Análisis de los resultados de diversos recursos efectuados por el Instituto Industrial de Microbiología de Shanghai. ....          | 12 |
| <b>TABLA VII:</b>   | Contenido de sólidos totales (en seco) en materiales de fermentación comúnmente utilizados en las zonas rurales (aproximado) ..... | 12 |
| <b>TABLA VIII:</b>  | Rendimiento de gas en digestores pequeños rurales a distintas temperaturas .....   | 13 |
| <b>TABLA IX:</b>    | Rendimiento de gas con materiales empleados comúnmente a distintas temperaturas. ....  | 13 |
| <b>TABLA X:</b>     | Tiempos de Retención en Distintos Tipos de Estiércol .....   | 15 |
| <b>TABLA XI:</b>    | Concentración inhibidora de inhibidores comunes .....  | 18 |
| <b>TABLA XII:</b>   | Criterios de Calidad para aguas de Consumo Humano y Doméstico. ....  | 36 |
| <b>TABLA XIII:</b>  | Criterios de Calidad de Aguas de Uso Agrícola o de Riego .....   | 37 |
| <b>TABLA XIV:</b>   | Determinación de la Carga Diaria de Estiércol en la Finca los Laureles   | 41 |
| <b>TABLA XV:</b>    | Determinación de pH pre y post Degradación.....  | 62 |
| <b>TABLA XVI:</b>   | Determinación de Temperatura pre y post Degradación.....   | 63 |
| <b>TABLA XVII:</b>  | Determinación de Sólidos Totales pre y post Degradación.....   | 65 |
| <b>TABLA XVIII:</b> | Sólidos Volátiles pre y post Degradación .....   | 67 |
| <b>TABLA XIX:</b>   | Determinación de Sólidos Volátiles pre y post Degradación.....   | 67 |



|                      |   |     |
|----------------------|---|-----|
| <b>TABLA XX:</b>     | Determinación de Humedad pre y post Degradación .....                               | 69  |
| <b>TABLA XXI:</b>    | Determinación de Ceniza pre y post Degradación .....                                | 70  |
| <b>TABLA XXII:</b>   | Determinación de DQO pre y post Degradación .....                                   | 72  |
| <b>TABLA XXIII:</b>  | Determinación de DBO <sub>5</sub> pre y post Degradación .....                      | 73  |
| <b>TABLA XXIV:</b>   | Determinación de Sulfuros pre y post Degradación.....                               | 75  |
| <b>TABLA XXV:</b>    | Determinación de Coliformes Totales pre y post Degradación .....                    | 76  |
| <b>TABLA XXVI:</b>   | Determinación de Coliformes Fecales pre y post Degradación .....                    | 77  |
| <b>TABLA XXVII:</b>  | Matriz de Preselección para el Diseño de Domo Flotante o “HINDÚ” .                  | 79  |
| <b>TABLA XXVIII:</b> | Matriz de Preselección para el Diseño de Domo Fijo o “CHINO” .....                  | 79  |
| <b>TABLA XXIX:</b>   | Matriz de Preselección para el Diseño de Estructura Flexible<br>“POLIETILENO” ..... | 80  |
| <b>TABLA XXX:</b>    | Datos Básicos – Biogás de Ganado Vacuno .....                                       | 83  |
| <b>TABLA XXXI:</b>   | Caja de Entrada del Biodigestor .....   | 98  |
| <b>TABLA XXXII:</b>  | Dimensiones de la Cámara del biodigestor.....                                       | 98  |
| <b>TABLA XXXIII:</b> | Caja de Salida del Biodigestor .....  | 99  |
| <b>TABLA XXXIV:</b>  | Altura de la Tubería .....  | 99  |
| <b>TABLA XXXV:</b>   | Compuerta de Limpieza .....   | 99  |
| <b>TABLA XXXVI:</b>  | Análisis de precios para la Construcción del biodigestor.....                       | 100 |

## ÍNDICE DE ANEXOS

|                  |   |     |
|------------------|---|-----|
| <b>ANEXO 1:</b>  | TOMA DE MUESTRAS DE ESTIÉRCOL PARA ANÁLISIS FÍSICOS, QUÍMICOS MICROBIOLÓGICOS. .... | 115 |
| <b>ANEXO 2:</b>  | DETERMINACIÓN DE LA CARGA DIARIA DE ESTIÉRCOL. ....                                 | 116 |
| <b>ANEXO 3:</b>  | ESTIÉRCOL DIARIO CUANTIFICADO EN EL ESTABLO. ....                                   | 117 |
| <b>ANEXO 4:</b>  | MUESTREO .....  | 117 |
| <b>ANEXO 5:</b>  | RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS FÍSICOS, QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS. ....                | 118 |
| <b>ANEXO 6:</b>  | HOJA DE RESULTADOS DE SÓLIDOS TOTALES FALTANDO MULTIPLICAR POR LA DILUCIÓN. ....    | 126 |
| <b>ANEXO 7:</b>  | ANÁLISIS DE MUESTRAS .....  | 127 |
| <b>ANEXO 8:</b>  | PLANO DE LA CAJA DE ENTRADA DEL BIODIGESTOR. ....                                   | 131 |
| <b>ANEXO 9:</b>  | PLANO DE LA CAJA DE SALIDA DEL BIODIGESTOR .....                                    | 132 |
| <b>ANEXO 10:</b> | PLANO DE LAS DIMENSIONES DEL BIODIGESTOR .....                                      | 133 |
| <b>ANEXO 11:</b> | PLANO DEL VOLUMEN FINAL DEL BIODIGESTOR. ....                                       | 134 |
| <b>ANEXO 12:</b> | PLANO DE LA VISTA SUPERIOR DEL BIODIGESTOR. ....                                    | 135 |
| <b>ANEXO 13:</b> | PLANO DE LA VISTA SUPERIOR DEL BIODIGESTOR, ESTABLO, VIVIENDA Y AVÍCOLA .....       | 136 |

## RESUMEN

En la presente investigación se realizó el Diseño de un Biodigestor Anaerobio para la Producción de Biogás a Partir de las Excretas de Ganado Vacuno, En la Finca Los Laureles en la Comunidad Flor del Manduro.

La investigación se llevó a cabo mediante el Método Descriptivo y Cuantitativo, lo cual permitió la caracterización física, química y microbiológica del estiércol, se efectuó mediante muestreo aleatorio simple, utilizándose fundas ziploc, guantes, botas de caucho, mandil, libreta de apuntes, marcador, pala, balde, iniciándose los análisis de ST, SV, Temperatura, pH, DQO, DBO<sub>5</sub>, Sulfuros, Ceniza, Humedad, Coliformes T. y F. además se obtuvo la cantidad de estiércol disponible de 118.17 Kg de EF/día de la finca.

La selección del tipo de biodigestor se realizó mediante una matriz de preselección escogiéndose para el diseño estructural el modelo Chino, siendo el mejor en ajustarse a las condiciones de la finca los Laureles ubicada en el cantón Puerto Francisco de Orellana.

Las dimensiones del biodigestor son: Volumen del tanque del biodigestor 7.10 m<sup>3</sup>, Diámetro interior 2.10 m, Diámetro exterior 2.40 m, Espesor del Hormigón 0.15 m, Altura 2.10 m, altura del borde de la base 0.32 m, Altura final del biodigestor 3.10 m, Altura de la cúpula superior 0.42 m, Radio de la curvatura de la esfera superior 1.52 m, Volumen de la cúpula superior 0.77 m<sup>3</sup>, Altura de la cúpula inferior 0.26 m, Radio de la curvatura de la esfera inferior 2.25 m, Volumen de la cúpula inferior 0.46 m<sup>3</sup>, Volumen del cilindro 7.27 m<sup>3</sup>, Volumen final del biodigestor 8.50 m<sup>3</sup>, Volumen de biogás almacenado 1.4 m<sup>3</sup>. El cual producirá 3.78 m<sup>3</sup> aproximadamente de Biogás diarios.

Siendo una de las actividades ganaderas que más se lleva a cabo en el sector y la causante de la contaminación de los recursos naturales, se busca con el diseño y su posterior construcción reducir el impacto ambiental con el manejo técnico y ambiental de los desechos orgánicos.

Se recomienda al propietario la construcción del biodigestor como una nueva alternativa de energía, satisfaciendo así las necesidades de energía de la finca los Laureles.

## SUMMARY

In the present investigation, an anaerobic bio-digester design for biogas production based upon cow manure was carried out in Los Laureles Ranch from the Flor del Manduro Community.

The descriptive-quantitative method was used in this investigation allowing the physical, chemical and microbiological characterization of manure with simple random sampling using Ziploc bags, gloves, rubber boots, lab coat, notebook, marker shovel, bucket, starting the ST, SV analysis, temperature, pH, DQO, DBO<sub>5</sub>, sulphide, ash, dampness, T. and F. coliforms. Besides, the available manure amount of 118.17 Kg of EF/day of the farm was gotten.

The type of bio-digester was chosen with a pre-selection matrix. The Chinese-model structure design was chosen because it is adjusted the best to the conditions of Los Laureles Ranch located on the Puerto Francisco de Orellana Canton.

The bio-digester dimensions are: bio-digester tank volume 7.10 m<sup>3</sup>, internal diameter 2.10 m, external diameter 2.40 m, concrete thickness 0.15 m, height 2.10 m, base border height 0.32 m, final bio-digester height 3.10 m, upper dome height 0.42 m, upper sphere curvature ratio 1.52 m, upper dome volume 0.77 m<sup>3</sup>, lower dome height 0.26 m, lower sphere curvature ratio 2.25 m, lower dome volume 0.46 m<sup>3</sup>, cylinder volume 7.27 m<sup>3</sup>, final bio-digester volume 8.50 m<sup>3</sup>, biogas store volume 1.4 m<sup>3</sup>. It will produce 3.78 m<sup>3</sup> of daily biogas roughly.

Cattle activity is one of the most polluting activities of the natural resources in the sector as it is the most developed. The design and its further construction intend to decrease the environment impact with the technical and environmental handle of the organic waste.

It is recommended that the ranch owner construct the bio-digester as a new power option, supplying Los Laureles Ranch with electric power.

## **INTRODUCCIÓN**

El agua, suelo y aire son recursos indispensable para la conservación de todo tipo de vida, recursos que día con día se va agotando por el aumento de la población y la necesidad de satisfacer las necesidades básicas, para el desarrollo de las actividades humanas y el vertido de excretas de ganado vacuno a los distintos cuerpos receptores sin un tipo de tratamiento adecuado, aumentando los niveles de contaminación de las aguas superficiales, subterráneas, del suelo y aire.

La problemática ambiental generada por los vertidos de excretas de ganado vacuno ha dado lugar a la creación de nuevos reglamentos que permiten regular la cantidad de contaminantes vertidos, lo cual ha hecho necesario la implementación de nuevas tecnologías de tratamientos de los desechos del ganado que permitan aumentar el rendimiento de depuración y mejorar la calidad del efluente.

El sector ganadero, considerado uno de los sectores con mayor consumo de agua y suelo, ha mostrado su preocupación por disminuir la contaminación de estos recursos mediante la utilización de nuevas alternativas y técnicas de reutilización de sus desechos.

El tratamiento de las excretas del ganado vacuno mediante biodigestores se presenta como una alternativa innovadora a la depuración y reutilización de sus excretas con otros fines ambientales, ante los tratamientos convencionales al proporcionar un efluente con calidad de tratamiento y una reducción considerable en la producción de desechos.

Por tal motivo se presenta la necesidad de un biodigestor debido a la situación ambiental en el sector ganadero, así como el diseño de un biodigestor de tratamiento aplicando la tecnología de biodigestores, y evaluando la calidad de dichos desechos, de esta manera promover un adecuado manejo de las excretas del ganado que permitan optimizar el uso de los recursos naturales de una manera ordenada y de mejor manera.

## ANTECEDENTES

En el periodo comprendido entre 1920 y 1935, se estudió ampliamente el proceso de digestión anaeróbica. En 1940 la China y la India iniciaron el desarrollo de la tecnología de biogás aprovechando residuos agrícolas y estiércoles de animales, principalmente de bovinos, con fines energéticos y de fertilización. En la China se han construido unos 7 millones de biodigestores, de los cuales unos cuatro millones de ellos están en uso actualmente y benefician a quince millones de habitantes.

Según Metcalf y Harrison (1977).- Donald Cameron, construyó el primer tanque séptico, en la ciudad de Exeter (Inglaterra), para la obtención de biogás a partir de la descomposición de desechos orgánicos.

Según Hobbson et al, (1980).- En Inglaterra y otros países de Europa, principales fuentes de contaminación, son las granjas de porcino, bovinos y avícolas, la cual se ha incrementado la presión popular como las legislativas para el control de problema.

Según Mendoza (1988). A finales del siglo XIX se descubrió el proceso de digestión anaeróbica, cuando un alumno de Pasteur, llamado Gayón, la detectó y estudio la posibilidad de su uso como fuente de combustible. <sup>(1)</sup>

En América, Brasil es el país que más impulso le ha dado a esta técnica, también México, Guatemala y Colombia, están dentro de los principales difusores, el resto de los países están iniciando el uso de la tecnología del biogás.<sup>(2)</sup>

En los países industrializados la historia de la tecnología de biodigestores ha sido diferente y el desarrollo ha respondido más bien a motivaciones ambientales que puramente energéticas, constituyendo un método clásico de estabilización de lodos activos de las plantas de tratamiento de aguas residuales domiciliarias. Durante la década de los ochenta, volvió a adquirir cierta importancia como forma de recuperación energética en explotaciones agropecuarias y agroindustriales, sin embargo, en India, a

---

<sup>1</sup><http://www.es.scribd.com/doc/54822311/proyecto-de-biodigestor>

<sup>2</sup><http://www.bvsde.paho.org/acrobat/diagnost.pdf>

comienzos de la década de los 60, se impulsó notablemente la tecnología de producción de biogás a partir de estiércol bovino con el doble propósito del aprovechamiento energético y la obtención de un biofertilizante. <sup>(3)</sup>

En la actualidad, el biogás se utiliza en todo el mundo como una fuente de combustible tanto a nivel industrial como doméstico. Su explotación ha contribuido a impulsar el desarrollo económico sostenido y ha proporcionado una fuente energética renovable alternativa al carbón y el petróleo. La actividad agropecuaria y el manejo adecuado de residuos rurales pueden contribuir significativamente a la producción y conversión de residuos animales y vegetales (biomasa) en distintas formas de energía. Durante la digestión anaeróbica de la biomasa, mediante una serie de reacciones bioquímicas, se genera el biogás, el cual, está constituido principalmente por metano (CH<sub>4</sub>) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Este biogás puede ser capturado y usado como combustible y/o electricidad. De esta forma, la digestión anaeróbica, como método de tratamiento de residuos, permite disminuir la cantidad de materia orgánica contaminante, estabilizándola y al mismo tiempo, producir energía gaseosa (biogás) <sup>(4)</sup>

---

<sup>3</sup> ACURIO, G., Diagnóstico de la situación del manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe., 18a ed., Santiago de Chile-Chile., Editorial Publicación conjunta del Banco Interamericano de Desarrollo y la Organización Panamericana de la Salud., 2009., Pp. 10.

<sup>4</sup> VARNERO, M., Manual de Biogás., 1a ed., Santiago de Chile-Chile., Editorial Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura., 2011., Pp. 9.

## **JUSTIFICACIÓN**

La contaminación ambiental se encuentra presente a nivel mundial y sus efectos se hacen sentir notablemente en la sociedad. Abordando el caso específico de las zonas rurales y ganaderas que generalmente vierten las excretas de los animales en las corrientes fluviales adyacentes, con el propósito de deshacerse de las mismas, es necesario destacar que, este método rudimentario es utilizado para eliminar las excretas, siendo contaminante e invasivo, ya que produce en las comunidades aledañas, daños a la salud de las mismas, debido a que se abastecen y consumen las aguas de los ríos contaminados.

Es por ello, que se ve la importancia y necesidad del uso de los biodigestores, que tienen como función primordial la erradicación de la contaminación producida en las construcciones que albergan a los animales y por ende la contaminación que sus excretas producen en los cuerpos de agua. Otro punto importante, es que las comunidades que se encuentran alejadas de las urbes necesitan en algunos casos, poseer autonomía energética, para garantizar una buena calidad de vida, la cual puede ser otorgada por los biodigestores, de manera rentable y eficiente.

La producción de Biogás procedente de éste a través del aprovechamiento de los desechos orgánicos, no sólo es capaz de producir dicha energía, sino que también puede ser utilizado como gas doméstico para la cocción y el Bioabono resultante del mismo proceso utilizado como Biofertilizante.

De esta manera nace la idea de crear nuevas alternativas de manejo ambiental para los residuos orgánicos generados por actividad ganadera, creando así una nueva alternativa para la generación de energía renovable y amigable con el ambiente.

El diseño del BIODIGESTOR en la finca los LAURELES quedará listo para su ejecución, generando abono orgánico, satisfaciendo las necesidades básicas de la finca y sectores aledaños, beneficiando la productividad de los cultivos evitando contaminar los recursos naturales para mantener un equilibrio Hombre-Ambiente.



## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Diseñar un Biodigestor para la producción de biogás a partir de las excretas de ganado vacuno en la finca los laureles en la comunidad flor del manduro.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- ✓ Caracterizar la calidad del estiércol del ganado vacuno pre y post proceso de degradación de la materia, mediante análisis físico-químico y microbiológico.
  
- ✓ Seleccionar un Biodigestor óptimo para producir biogás, en base a los Biodigestores existentes en bibliografía.
  
- ✓ Dimensionar el diseño estructural del Biodigestor para la producción de Biogás previamente seleccionado.

# **CAPÍTULO I**

## **MARCO TEÓRICO.**

# CAPÍTULO I

## 1. MARCO TEÓRICO

### 1.1. ESTIÉRCOL

Estiércol es el nombre con el que se denomina a los excrementos de animales que se utilizan para fertilizar los cultivos. En ocasiones el estiércol está constituido por excrementos de animales y restos de las camas, como sucede con la paja. En agricultura se emplean principalmente los desechos de oveja, de ganado vacuno, de caballo, de gallina (gallinaza). Antaño, también el de paloma. Actualmente se usa también el de murciélago. El estiércol de cerdo proveniente de granjas tiene consistencia líquida y se denomina purín.<sup>(5)</sup>

El rechazo directamente en las aguas superficiales es ilegal en muchos países, moralmente inaceptable y además costoso, ya que la pérdida de elementos fertilizantes es total. El esparcimiento sobre las tierras agrícolas, incluso teniendo en cuenta la amortiguación de la infraestructura necesaria para un almacenamiento de la larga duración y de los gastos del esparcimiento, sigue siendo la solución más económica. Por ello conviene limitar las pérdidas por volatilización arroyando, lavado y desnitrificación; y, así administrar la reserva de afluentes para evitar los esparcimientos excedentes que

---

<sup>5</sup> <http://www.abonillosorganicospuros.blogspot.com/p/estiercol.html>

conducen a situaciones de caracterizar poluciones, no sólo del aire y del agua sino además, a más largo plazo, de los suelos.<sup>(6)</sup>

### 1.1.1. COMPOSICIÓN DEL ESTIÉRCOL

El alimento del ganado vacuno por lo general es hierba la cual tiene un alto contenido de agua provocando un estiércol acuoso. Por este motivo, se le clasifica entre los abonos frescos. El ganado es alimentado con distintas clases de hierbas, produciendo un estiércol con alto contenido microorganismos.

Es una mezcla compuesta por una porción de alimento sin digerir, bacterias arrastradas del tracto digestivo líquidos digestivos y agua; es decir excrementos sólidos, líquidos y un 80 a 85% de orina, resto de comida, desechos vegetales o animales, etc.

La porción fecal del estiércol contiene un gran número de ingredientes alimenticios en su forma original. Las excretas contienen sustancias que son transformadas por la actividad metabólica de las bacterias en el tracto digestivo, así como la acción enzimática de los jugos digestivos.

Los principales elementos de este estiércol (purín) son: Materia orgánica (M.O), Nitrógeno (N), Fósforo (P), Cobre (Cu) y otros <sup>(7)</sup>.

**TABLA I:** Composición media de estiércoles frescos de diferentes animales domésticos (como porcentaje de la materia seca).

| Nutrientes   | Vacunos | Porcinos | Caprinos | Conejos | Gallinas |
|--|---------|----------|----------|---------|----------|
| Materia orgánica (%)                                   | 48,9    | 45,3     | 52,8     | 63,9    | 54,1     |
| Nitrógeno total (%)                                    | 1,27    | 1,36     | 1,55     | 1,94    | 2,38     |
| Fósforo asimilable (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , %) | 0,81    | 1,98     | 2,92     | 1,82    | 3,86     |
| Potasio (K <sub>2</sub> O, %)                          | 0,84    | 0,66     | 0,74     | 0,95    | 1,39     |
| Calcio (CaO, %)  | 2,03    | 2,72     | 3,2      | 2,36    | 3,63     |
| Magnesio (MgO, %)                                      | 0,51    | 0,65     | 0,57     | 0,45    | 0,77     |

FUENTE: Asoy Bustos, 1991

<sup>6</sup> [http://www.rlc.fao.org/fileadmin/content/publicaciones/manual\\_biogas.pdf](http://www.rlc.fao.org/fileadmin/content/publicaciones/manual_biogas.pdf)

<sup>7</sup> MARTÍNEZ, L., El Estiércol y las prácticas agrarias respetuosas con el Medio Ambiente., 3a ed., Madrid-España Editorial Ministerio de Agricultura Pesca y Ganadería., 2012., Pp. 19.

## 1.2. BIOGÁS

El biogás es una mezcla de gases cuyos principales componentes son el metano ( $\text{CH}_4$ ) y el bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), producidos como resultado de la fermentación de materia orgánica en ausencia del aire y la acción de un grupo de microorganismos. En la naturaleza se encuentran gran variedad de residuos orgánicos de los cuales se puede obtener biogás, como por ejemplo: estiércol de animales domésticos como vacas, cerdos y aves, residuos vegetales como pajas, pastos, hojas secas y domésticos como restos de comida, yerba, frutas, verduras, etc. <sup>(8)</sup>

### 1.2.1. COMPOSICIÓN DEL BIOGÁS.

La composición de biogás depende del tipo de desecho utilizado y las condiciones en que se procesa, los principales componentes del biogás son el metano ( $\text{CH}_4$ ) y el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ).

El metano, es el principal componente del biogás, y es el gas que le brinda las características combustibles. El metano es un gas combustible, incoloro, inodoro, cuya combustión produce una llama azul y productos no contaminantes. Veintiuna veces más activo que el gas carbónico, el biogás contribuye también muy activamente al “efecto invernadero”. También puede servir para producir electricidad: 1 metro cúbico de biogás equivale a 1/2 metro cúbico de gas natural, es decir, 5 kw/h. <sup>(9)</sup>

---

<sup>8</sup> <https://www.sites.google.com/site/energiaenlinea/calendar>

<sup>9</sup> <http://www.planthogar.net/encyclopedia/jump.asp?doc=00000293.htm>

**TABLA II:** Composición del biogás

| <b>COMPONENTE</b>          | <b>FÓRMULA QUÍMICA</b> | <b>%VOLUMEN</b> |
|----------------------------|------------------------|-----------------|
| <b>Metano</b>              | CH <sub>4</sub>        | 60-70           |
| <b>Gas Carbónico</b>       | CO <sub>2</sub>        | 30-40           |
| <b>Hidrógeno</b>           | H <sub>2</sub>         | 1.0             |
| <b>Nitrógeno</b>           | N <sub>2</sub>         | 0.5             |
| <b>Monóxido de Carbono</b> | CO                     | 0.1             |
| <b>Oxígeno</b>             | O <sub>2</sub>         | 0.1             |
| <b>Ácido Sulhídrico</b>    | H <sub>2</sub> S       | 0.1             |

**FUENTE:** <http://www.bvsde.paho.org/bvsaar/e/fulltext/gestion/biogas.pdf>

### **1.2.2. CARACTERÍSTICAS DEL BIOGÁS**

El componente principal para la producción del biogás es el Estiércol y las materias vegetales. Este gas se puede recoger y utilizar previa purificación. <sup>(10)</sup>

- ✓ No es fácil construir una unidad de biogás, en un comienzo, la instalación requiere de una cierta inversión de tiempo, trabajo y dinero.
- ✓ La unidad deberá ubicarse en un lugar apropiado.
- ✓ Las temperaturas extremas comprometerán el funcionamiento de la unidad de biogás, las temperaturas ideales para el desprendimiento de gas están comprendidas entre 32°C y 37°C a temperaturas inferiores a 10°C prácticamente no hay gas.
- ✓ Debemos disponer también de abundante estiércol o materiales vegetales.

---

<sup>10</sup> <http://www.repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/308/7/T-ESPE-026444-3.pdf>

**TABLA III:** Rendimiento de biogás

| <b>1 m<sup>3</sup> de biogás equivale a:</b> |                     |
|--|---------------------|
| <b>Alcohol</b>                               | 1,1 litros          |
| <b>Gasolina</b>                              | 0,8 litros          |
| <b>Gas-oíl</b>                               | 0,65 litros         |
| <b>Gas natural</b>                           | 0,76 m <sup>3</sup> |
| <b>Carbón de piedra</b>                      | 1,5 kg              |
| <b>Madera</b>                                | 1,3 kg              |

**FUENTE:** presentación Jaime Marti, Bolivia 2010

### **1.3. METANO**

El gas metano es un hidrocarburo alcano más sencillo, contiene únicamente átomos de carbono e hidrógeno unidos por un enlace covalente. Es incoloro y no es soluble en agua. En la naturaleza se produce como producto final de la putrefacción anaeróbica de las plantas. <sup>(11)</sup>

#### **1.3.1. MICROORGANISMOS QUE NO PRODUCEN METANO**

Son una serie de microorganismos que convierten en complejos y en productos orgánicos a molécula más sencillas y más pequeñas. Participan numerosas y variados microbios anaerobios y facultativos, dependiendo su número y su variedad de los materiales de fermentación.

Los microbios que no producen metano pueden clasificarse en tres grupos, bacterias, mohos y protozoos, entre los cuales tienen mayor importancia los primeros.

**Bacterias:** Hay muchos tipos de bacterias que no producen metano. Según la FAO (1986), sobre la base de sus grupos fisiológicos, se clasifican las bacterias no

---

<sup>11</sup> <http://agortizeu.blogspot.com/2009/08/quieres-producir-gas-metano-para-la.html>

metanogénicas en siete grupos las que se descomponen la celulosa, la hemi- celulosa, las proteínas y las grasas, las que producen hidrógeno, otros microbios específicos como los thiovibros y las que emplean el ácido láctico.

**Mohos:** Mediante el cultivo artificial se han aislado numerosos mohos y levaduras en la digestión anaeróbica, llegándose a la conclusión que estos organismos podrían participar en el proceso de la digestión, del cual obtendrán los nutrientes.

**Protozoos.-** Algunos investigadores han señalado que los protozoos intervienen en este proceso, tratándose principalmente de Plasmodium, flagelados y amebas, aunque consideran que podría desempeñar un papel de menor importancia en el proceso.

En la digestión anaeróbica la mayoría de bacterias no son metanogénicas, y tienen una gran importancia en el desarrollo del proceso anaeróbico, ya que las bacterias productoras de biogás no pueden aprovechar directamente los compuestos orgánicos a menos que éstos hayan sido degradados y convertidos en compuestos más sencillos, de menor peso molecular, gracias a la acción de las bacterias no metanogénicas.

### 1.3.2. MICROORGANISMOS PRODUCTORES DE METANO

Son el grupo más importante de microbios de fermentación en la fabricación de biogás. Estas bacterias se caracterizan por ser muy sensibles al oxígeno a los ácidos solo pueden usar como sustrato los compuestos orgánicos más sencillos. El crecimiento y la reproducción de las bacterias metanogénicas es muy lento, demora de 4 a 6 días. Su estudio ha avanzado muy lentamente por la dificultad de aislar, incubar y almacenarlos.

(12)

---

<sup>12</sup> <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan2/031042/031042.pdf>



**TABLA IV:** Clasificación de las Methanobacterias (bacht, 1979)

| Orden              | Familia             | Genero             | Especie   |
|--------------------|---------------------|--------------------|---|
| Methanobacteriates | Methanobacteriaceae | Methanobacterium   | Methanoformicum<br>Methanobryantil<br>M. thermoautotrophic  |
|                    |                     | Methanobrevibacter | Methanoruminantium<br>Methanoarboriphilus<br>Methanosmithil |
| Methanococcales    | Methanococcaceae    | Methanocoecus      | Methanovannielii<br>Methanovoltae                           |
| Methanomicrobiates | Methanomicrobiaceae | Methanogenium      | Methanocaraci<br>Methanomarispiri                           |
|                    |                     | Methanospillum     | Methanohongatei   |
|                    | Methamisarcinaceae  | Methanomicrobium   | Methanomobile   |
|                    |                     | Methanosarcina     | Methanobarkerie   |

**FUENTE:** Tomada de Biogás una experiencia en China FAO, 1986

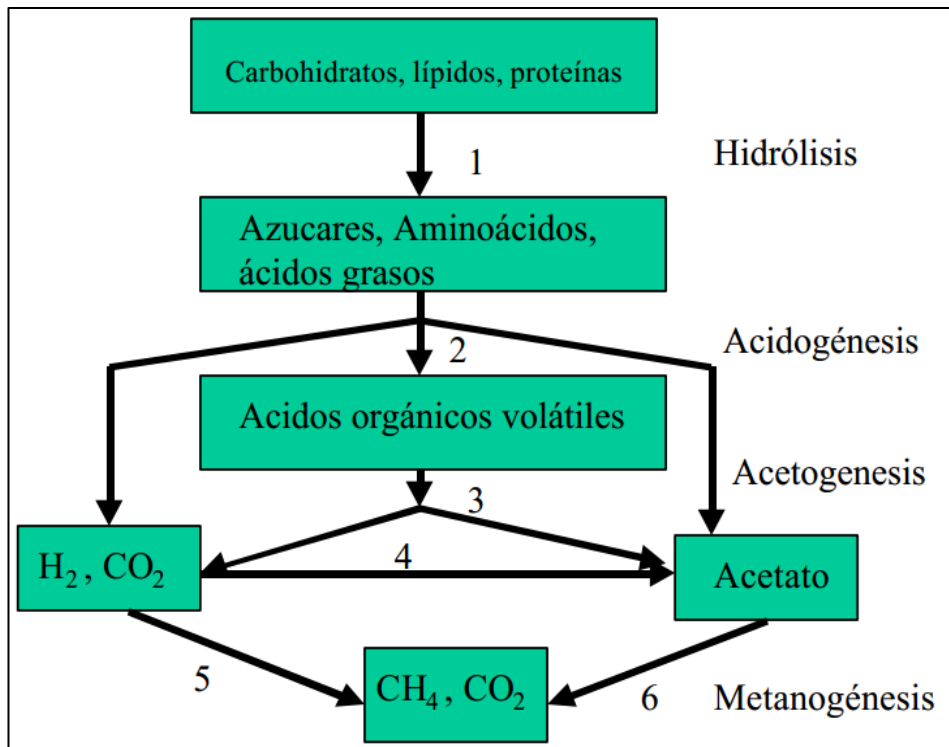
#### 1.4. ETAPAS DE LA FERMENTACIÓN METANOGENICA

**Primera Etapa:** La materia orgánica es atacada por grupos de bacterias fermentativas Proteolíticas y Celulíticas, que la degradan hasta ácidos grasos y compuestos neutros.

**Segunda Etapa:** Los ácidos grasos orgánicos son atacados por bacterias reductoras obligadas de hidrógeno, que llevan los ácidos a acetato. Simultáneamente un grupo de bacterias homoacetogénicas, degradan los ácidos de cadena larga de acetato a H<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>.

**Tercera Etapa:** Las bacterias metanogénicas utilizan tanto el acetato como el H<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> para producir metano. <sup>(13)</sup>

<sup>13</sup> <http://www.bdigital.unal.edu.co/7967/4/luisoctaviogonzalezsalcedo.20121.pdf>



**FIGURA 1:** Etapas de la Fermentación Metanogénica

**FUENTE:** Tomado de McInerney and Beyant (1980)

## 1.5. FACTORES A CONSIDERAR EN EL PROCESO METANOGENICO

Existen muchos factores que influyen directamente en la fermentación metanogénica entre ellos:

### 1.5.1. MATERIALES DE CARGA PARA LA FERMENTACIÓN

Llamamos así a todos los desechos orgánicos que se introducen dentro de un biodigestor para su degradación. Pero para la fermentación los microorganismos metanogénicos necesitan nutrientes para producir biogás, por ello es necesario contar con suficiente material de carga para que se produzca el proceso de digestión. La materia orgánica que se utiliza como material de carga (residuos de los cultivos, excretas de animales), se

pueden clasificar en dos grupos, el primer grupo la materia prima es rica de nitrógeno, y la segunda clasificación son ricas en carbono, el nitrógeno se utiliza como constituyente para la formación de la estructura celular y el carbono se utiliza como fuente de energía.

### 1.5.2. RELACIÓN CARBONO-NITRÓGENO (C/N)

Los microbios siempre consumen estos elementos en determinada proporción medidos por la relación carbono-nitrógeno (C/N) que contienen la materia orgánica. Las excretas de humanos y de animales son ricos en nitrógeno, con una relación C/N inferior a 25:1, durante la fermentación tiene una mejor velocidad de biodegradación y de generación de gas; en cambio los residuos agrícolas son ricos en carbono, con una relación C/N superior a 30:1 pero una degradación más lenta de gas en el proceso de digestión.

**TABLA V:** Relación Carbono - Nitrógeno De Las Materias Primas empleadas

| <b>Materia Prima</b>               | <b>Contenido de carbono de las materias primas por peso (%)</b> | <b>Contenido de nitrógeno de las materias primas por peso (%)</b> | <b>Relación carbono a nitrógeno (C/N)</b> |
|------------------------------------|---|---|---|
| <b>Paja seca de trigo</b>          | 46  | 0.53  | 87;1                                      |
| <b>Paja seca de arroz</b>          | 42  | 0.64  | 67;1                                      |
| <b>Tallo de maíz</b>               | 40  | 0.75  | 53;1                                      |
| <b>Hojas secas</b>                 | 41  | 1.00  | 41;1                                      |
| <b>Estiércol de aves</b>           | 41  | 1.30  | 32;1                                      |
| <b>Pasto</b>                       | 14  | 0.54  | 27;1                                      |
| <b>Cacahuets , tallos y hojas</b>  | 11  | 0.59  | 19;1                                      |
| <b>Estiércol fresco de ovejas</b>  | 16  | 0.55  | 29;1                                      |
| <b>Estiércol fresco de vaca</b>    | 7.3   | 0.29  | 25;1                                      |
| <b>Estiércol fresco de caballo</b> | 10  | 0.42  | 24;1                                      |
| <b>Estiércol fresco de cerdo</b>   | 7.8   | 0.60  | 13;1                                      |
| <b>Excretas frescas humanas</b>    | 2.5   | 0.85  | 2.9;1                                     |
| <b>Estiércol de aves</b>           |   |   | 15;1                                      |

FUENTE: El Biogás, 1986

En general materias primas ricas en carbono producen más gas que las ricas en nitrógeno, así mismo es más rápida la producción de gas a partir de materias primas nitrogenadas (excretas), que las ricas de carbono (paja y tallos); mientras que los primeros días de fermentación las materias primas de nitrógeno generan de 34.4% y 46% del total del gas producido, las ricas en carbono solo aportan el 8.8% (FAO, 1986).

Por ello para conseguir un buen rendimiento de gas en forma constante durante la fermentación, es conveniente combinar proporciones adecuadas de materiales con bajo y alto rendimiento y de distintas velocidades de generación, también es conveniente agregar las materias primas ricas en nitrógeno a las materias primas de alta relación C/N, a fin de bajar esta relación. Por ejemplo, residuos de animales y humanos.

La relación C/N se puede calcular aplicando la fórmula siguiente:

**Ecuación 1**

$$K = \frac{C_1X_1 + C_2X_2 + C_3X_3 + \dots}{N_1X_1 + N_2X_2 + N_3X_3 + \dots} = \frac{\sum C_iX_i}{\sum N_iX_i}$$

Fórmula 1 cálculo de relación C/N

Dónde:

C= Porcentaje de carbono en la materia prima.

N=Porcentaje de nitrógeno en la materia prima.

X=Peso de materia Prima

K=C/N de la mezcla de las materias primas

**1.5.3. CONCENTRACIÓN DE LA CARGA**

Para la producción de gas, tratamiento de los efluentes y operación del reactor no es convenientemente que la carga a degradar este muy concentrada ni muy diluida, se recomienda una concentración de 5-10%. Sobre la base de los sólidos totales de la carga pueden calcularse la concentración de los lodos, la cantidad de agua que habrá que

agregar y las proporciones de los componentes, la tabla y nos muestran el contenido de sólidos totales de algunos materiales de carga para los digestores.

**TABLA VI:** Análisis de los resultados de diversos recursos efectuados por el Instituto Industrial de Microbiología de Shanghai.

| Materiales           | Renglones | Sólidos<br>totales | Sólidos<br>volátiles | Grasas | Lignina | Celulosa<br>compleja | Proteína |
|----------------------|-----------|--------------------|----------------------|--------|---------|----------------------|----------|
|                      | %         |                    |                      |        |         |                      |          |
| Estiércol<br>porcino | Fresco %  | 27.4               | 20.97                | 3.15   | 5.8     | 8.88                 | 3.0      |
|                      | Total %   | 100                | 76.54                | 11.5   | 21.49   | 32.39                | 10.95    |
|                      | VS %      | .....              | 100                  | 15.03  | 28.08   | 42.32                | 14.31    |
| Estiércol<br>vacuno  | Fresco %  | 20.0               | 15.8                 | 0.65   | 7.11    | 6.56                 | 1.81     |
|                      | Total %   | 100                | 76.89                | 3.23   | 35.57   | 32.49                | 9.05     |
|                      | VS %      | ....               | 100                  | 4.20   | 46.2    | 42.26                | 11.77    |
| Estiércol de<br>aves | Fresco %  | 68.9               | 56.64                | 2.96   | 13.66   | 24.83                | 6.36     |
|                      | Total %   | 100                | 82.20                | 2.84   | 19.82   | 50.55                | 9.56     |
|                      | VS %      | .....              | 100                  | 3.46   | 24.11   | 61.5                 | 11.58    |
| Paja de<br>arroz     | Fresco %  | 88.82              | 76.41                | 8.54   | 11.28   | 53.25                | 4.81     |
|                      | Total %   | 100                | 86.02                | 9.62   | 12.7    | 59.95                | 5.42     |
|                      | VS %      | .....              | 100                  | 11.18  | 14.76   | 69.19                | 6.3      |
| Pasto verde          | Fresco %  | 15.9               | 12.93                | 1.28   | 1.56    | 9.1                  | 0.79     |
|                      | Total %   | 100                | 81.32                | 8.05   | 9.8     | 57.22                | 4.94     |
|                      | VS %      | .....              | 100                  | 9.90   | 17.05   | 70.36                | 6.07     |

FUENTE: El biogás, 1986

**TABLA VII:** Contenido de sólidos totales (en seco) en materiales de fermentación comúnmente utilizados en las zonas rurales (aproximado)

| Materiales                | Contenido seco (%) | Contenido Hídrico (%) |
|---------------------------|--------------------|-----------------------|
| <b>Paja de arroz</b>      | 83                 | 17                    |
| <b>Paja de trigo seca</b> | 82                 | 18                    |
| <b>Tallo de maíz</b>      | 80                 | 20                    |
| <b>Pasto verde</b>        | 24                 | 76                    |
| <b>Excretas humanas</b>   | 20                 | 80                    |
| <b>Estiércol de cerdo</b> | 18                 | 82                    |
| <b>Estiércol de vaca</b>  | 17                 | 83                    |
| <b>Orina humana</b>       | 0.4                | 99.6                  |
| <b>Orina de cerdo</b>     | 0.4                | 99.6                  |
| <b>Orina de vaca</b>      | 0.6                | 99.4                  |

FUENTE: El biogás, 1986

#### 1.5.4. LA TEMPERATURA

La temperatura es un factor importante para la producción de biogás, debemos mantener la temperatura constante, para eso debemos aislar la cámara de biogás para mantener una temperatura óptima que es de 30°C a 35°C aproximadamente.

La temperatura afecta el tiempo de retención para la digestión y la degradación del material dentro del digestor, la degradación se incrementa en forma geométrica con los aumentos de la temperatura de trabajo, además se incrementa la producción de gas.

**TABLA VIII:** Rendimiento de gas en digestores pequeños rurales a distintas temperaturas

| Material de carga                | Temperatura | Producción de gas<br>m <sup>3</sup> /día |
|----------------------------------|-------------|--|
| <b>Paja de arroz + estiércol</b> | 29 a 30     | 0.55                                     |
| <b>Porcino + pastos</b>          | 24 a 26     | 0.21                                     |
| <b>Porcino + pastos</b>          | 16 a 20     | 0.10                                     |
| <b>Porcino + pastos</b>          | 12 a 15     | 0.07                                     |
| <b>Porcino + pastos</b>          | menos de 8  | escasa                                   |

**FUENTE:** Arias. (1986) Difusión de programas de biogás.

**TABLA IX:** Rendimiento de gas con materiales empleados comúnmente a distintas temperaturas.

| Materiales                 | Mesofílico (35°C ) | Ambiente ( 8 a 25 °C ) |
|----------------------------|--------------------|------------------------|
| <b>Estiércol de cerdo</b>  | 0.42               | 0.25 a 0.3             |
| <b>Estiércol de vaca</b>   | 0.3                | 0.2 a 0.25             |
| <b>Estiércol de humano</b> | 0.43               | 0.25 a 0.3             |
| <b>Paja de arroz</b>       | 0.4                | 0.2 a 0.25             |
| <b>Paja de trigo</b>       | 0.45               | 0.2 a 0.25             |
| <b>Pasto verde</b>         | 0.44               | 0.2 a 0.25             |

**FUENTE:** Arias. (1986) Difusión de programas de biogás.

### **1.5.5. VALOR DEL pH**

El factor indica cómo se desenvuelve la fermentación. Se mide con un valor numérico llamado pH, que en este caso el valor es 7. Cuando los valores superan el pH 8, esto indica una acumulación excesiva de compuesto alcalino y la carga corre riesgo de putrefacción. Los valores inferiores a 6 indican una descompensación entre las fases Ácidas y Metanogénica, pudiendo bloquearse esta última.

Los valores óptimos para la digestión metanogénica son de 6.5-7.5 cuando es baja de 5 o sube de 8 puede inhibir el proceso de fermentación o incluso el detenerlo. Normalmente cuando se trabaja con residuos domésticos y agropecuarios, la dinámica del mismo proceso ajusta el pH.

El pH se puede corregir en forma práctica: Obteniendo frecuentemente una pequeña cantidad de afluente y agregando materia prima fresca en la misma cantidad y en la forma simultánea.

Cuando el pH es bajo se puede agregar fertilizante, ceniza, agua amoniacal diluida o una mezcla de ambos y licor fermentado.

### **1.5.6. TIEMPOS DE RETENCIÓN**

Este parámetro sólo puede ser claramente definido en los “sistemas discontinuos o batch” donde el TR coincide con el tiempo de permanencia del sustrato dentro del digestor. En los digestores continuos y semicontinuos el tiempo de retención se define como el valor en días del cociente entre el volumen del digestor y el volumen de carga diaria. De acuerdo al diseño del reactor, el mezclado y la forma de extracción de los efluentes pueden existir variables diferencias entre los tiempos de retención de líquidos y sólidos debido a lo cual suelen determinarse ambos valores.

El TR está íntimamente ligado con dos factores: el tipo de sustrato y la temperatura del mismo. La selección de una mayor temperatura implicará una disminución en los tiempos

de retención requeridos y consecuentemente serán menores los volúmenes de reactor necesarios para digerir un determinado volumen de material.

La relación costo beneficio es el factor que finalmente determinará la optimización entre la temperatura y el TR, ya que varían los volúmenes, los sistemas paralelos de control, la calefacción y la eficiencia.

Con relación al tipo de sustrato, generalmente los materiales con mayor proporción de carbono retenido en moléculas resistentes como la celulosa demandarán mayores tiempos de retención para ser totalmente digeridos. A modo de ejemplo se dan valores indicativos de tiempos de retención usualmente más utilizados en la digestión de estiércol a temperatura mesofílica.

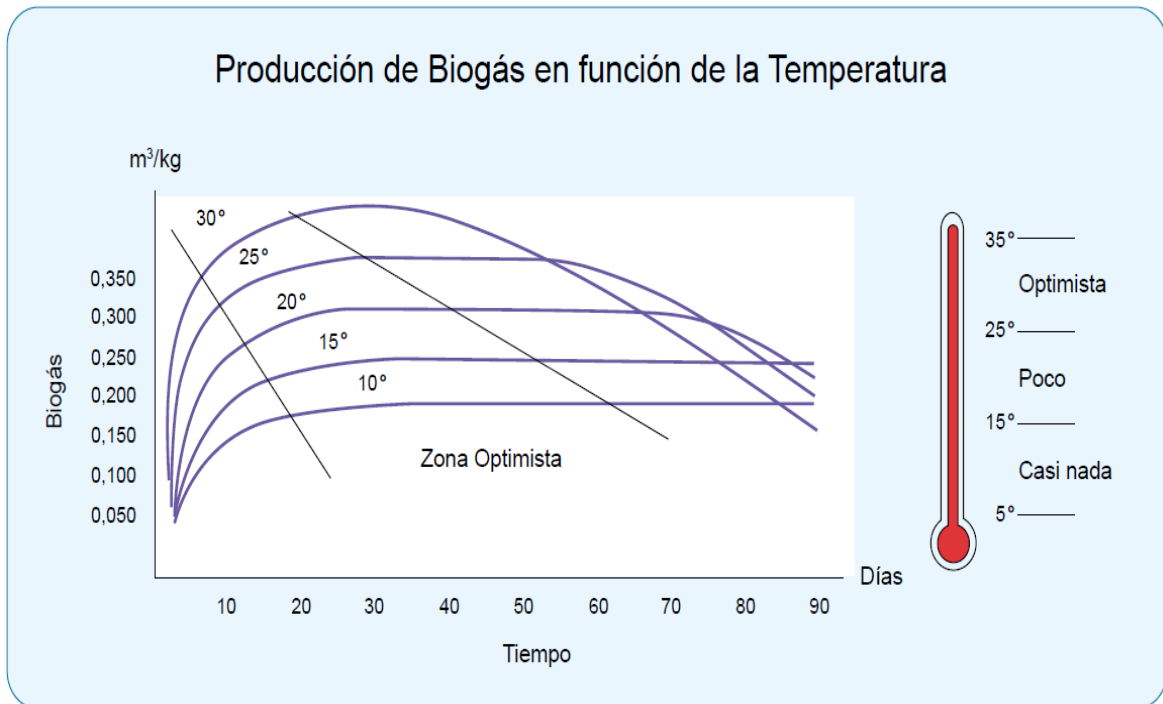
El límite mínimo de los TR está dado por la tasa de reproducción de las bacterias metanogénicas debido a que la continua salida de efluente del digestor extrae una determinada cantidad de bacterias que se encuentran en el líquido. Esta extracción debe ser compensada por la multiplicación de las bacterias que pertenecen dentro del reactor.

**TABLA X:** Tiempos de Retención en Distintos Tipos de Estiércol

| <b>MATERIA PRIMA</b>      | <b>TR (días)</b> |
|---------------------------|------------------|
| Estiércol vacuno líquido  | 20 a 30          |
| Estiércol porcino líquido | 15 a 25          |
| Estiércol aviar líquido   | 20 a 40          |

**FUENTE:** Technology of Biomasa Gasification





**FIGURA 2:** Producción de Biogás en Función de la Temperatura

**FUENTE:** Varnero, 1991

### 1.5.7. AGITACIÓN – MEZCLADO

Los objetivos buscados con la agitación son: remoción de los metabolitos producidos por las bacterias metanogénicas, mezclado del sustrato fresco con la población bacteriana, evitar la formación de costra que se forma dentro del digestor, uniformar la densidad bacteriana y evitar la formación de espacios “muertos” sin actividad biológica.

En la selección del sistema, frecuencia e intensidad de la agitación se deberán realizar las siguientes consideraciones: El proceso fermentativo involucra un equilibrio simbiótico entre varios tipos de bacterias. La ruptura de ese equilibrio en el cual el metabolito de un grupo específico servirá de alimento para el siguiente, implicará una pérdida en la actividad biológica y por ende una reducción en la producción de gas.

Existen varios mecanismos de agitación utilizados desde los más simples que consisten en un batido manual o el provocado por la entrada y salida de los líquidos hasta

sofisticados equipos que involucran agitadores a hélice, recirculadores de sustrato e inyectores de gas. <sup>(14)</sup>

### **1.5.8. PROMOTORES E INHIBIDORES DE LA FERMENTACIÓN**

La urea y el carbonato de calcio han dado buenos resultados. El primero acelera la producción de metano y la degradación del material, el segundo es útil para la generación de gas y para aumentar el contenido de metano en el gas.

Son muchos los factores que afectan la actividad de los microorganismos. La alta concentración de ácidos volátiles (más de 2000 ppm en la fermentación mesófila y de 3600 ppm para la termófila). La excesiva concentración de amoníaco y nitrógeno, destruyen las bacterias, todo tipo de productos químicos agrícolas, en especial los tóxicos fuertes aumentan aún en pocas proporciones pudiendo destruir totalmente la digestión normal, muchas sales como iones metálicos son fuertes inhibidores. Además la presencia de metales pesados, antibióticos y detergentes en determinadas concentraciones pueden inhibir e incluso interrumpir el proceso fermentativo. <sup>(15)</sup>

---

<sup>14</sup> <https://www.yumpu.com/es/document/view/15352261/descargar-4mb-universidad-de-el-salvador>

<sup>15</sup> <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan2/031042/031042.pdf>

**TABLA XI:** Concentración inhibidora de inhibidores comunes

| <b>Inhibidores</b>                        | <b>Concentración inhibidora</b> |
|---|---------------------------------|
| SO <sub>4</sub>                           | 5000 ppm                        |
| NaCl                                      | 40000 ppm                       |
| Nitrato (según el contenido de nitrógeno) | 0.05 mg/ml                      |
| Cu  | 100 mg/L                        |
| Cr  | 200 mg/L                        |
| Ni  | 200 a 500 mg/L                  |
| CN  | 25 mg/l                         |
| Detergente sintético                      | 20 a 40 mg/l                    |
| Na  | 3500 a 5500 mg/L                |
| K   | 2500 a 4500 mg/L                |
| Ca  | 2500 a 4500 mg/L                |
| 1000 a 1500 mg/L                          | 1000 a 1500 mg/L                |

**FUENTE:** FAO, 1986

## **1.6. BIODIGESTORES**

El Biodigestor es un depósito completamente cerrado donde los residuos orgánicos, o el estiércol de los animales se fermentan sin aire para producir gas metano y un sobrante, o líquido espeso, que sirve como abono y como alimento para peces y patos. El mecanismo básicamente consiste en alimentar el biodigestor con materiales orgánicos (estiércol) y agua cruda por período de 35 a 45 días aproximadamente durante los cuales, se produce el proceso bioquímico y la acción bacteriana, desarrollándose estas dos simultáneamente y gradualmente, todo esto en condiciones ambientales y químicas favorables, en esta acción se descompone la materia orgánica hasta producir biol y biogás (metano) para luego ser usado como combustibles (generación de calor y/o electricidad entre otros).

Corresponde al dispositivo principal donde ocurre el proceso bioquímico de degradación de la materia orgánica. Los reactores de digestión pueden tener forma cilíndrica, cúbica,

ovoide o rectangular, aunque la mayor parte de los tanques que se construyen en la actualidad son cilíndricos. El suelo del reactor está inclinado, para que la arena, el material inorgánico sedimentable y la fracción pesada del afluente puedan ser extraídos del tanque.

Los digestores modernos tienen cubiertas fijas o flotantes, cuya misión es impedir que escapen olores, conservar la temperatura, evitar la entrada de oxígeno y recoger el gas producido.

Pueden estar contruidos de distintos materiales desde una piscina cubierta de polietileno, concreto o acero inoxidable. <sup>(16)</sup>

Lo residuos domiciliarios diarios.

- ✓ Desechos agrícolas y animales con potencial para producir Metano:
- ✓ Desechos Animales: Estiércoles, cama, desechos alimenticios, orina, etc.
- ✓ Residuos Agrícolas: Semillas, pajas, corteza de caña, etc.
- ✓ Desechos de Rastros: Sangre, carne, desechos de pescado, etc.
- ✓ Residuos Agroindustriales: Aserrín, desechos de tabaco, cascarilla de arroz, desechos de frutas y vegetales.
- ✓ Residuos Forestales: Ramas, hojas, cortezas, etc.

### **1.6.1. HIDRÓLISIS ANAEROBIA**

La digestión anaerobia se produce a partir de polímeros naturales y en ausencia de compuestos inorgánicos, realizada en las siguientes tres fases:

**Hidrólisis y fermentación.-** La materia orgánica se descompone por acción de un grupo de bacterias hidrolíticas anaerobias que hidrolizan las moléculas solubles en agua, como

---

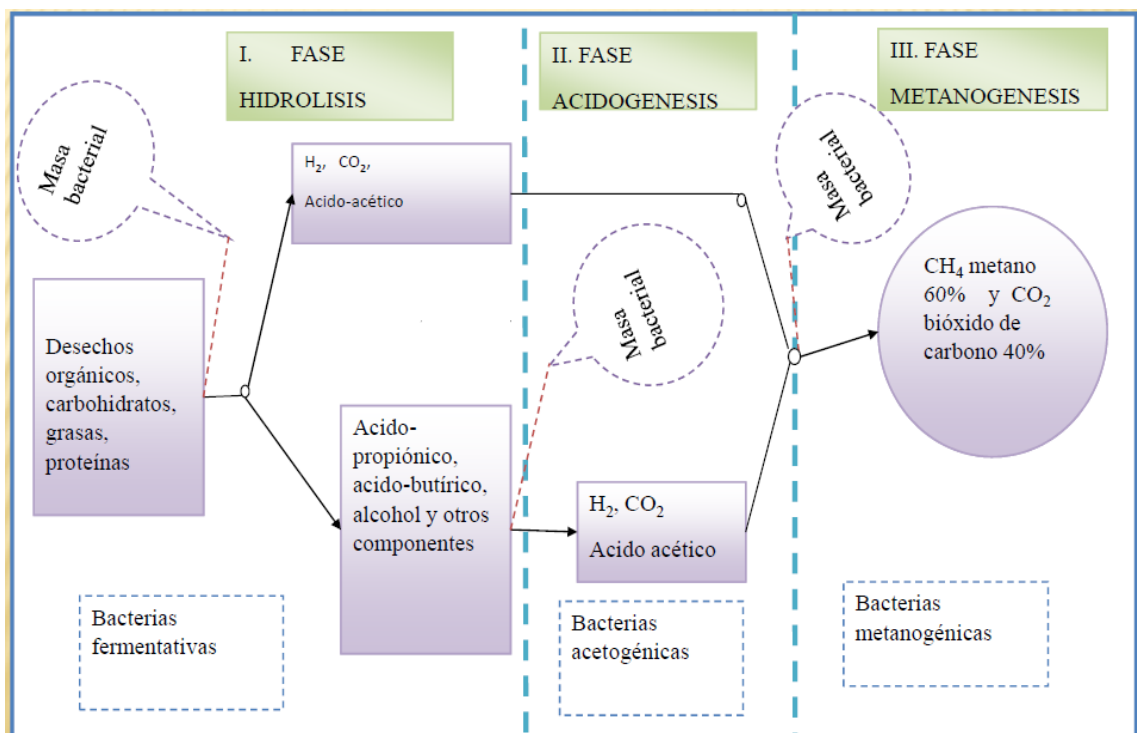
<sup>16</sup> <http://laenergiaparatodosytodas.blogspot.com/2013/10/si-la-energia-que-usas-no-es-renovable.html>

grasas, proteínas y carbohidratos, transformándolos en monómeros y compuestos simples solubles.

**Acetogénesis y deshidrogenación.-** Los alcoholes, ácidos grasos y compuestos aromáticos se degradan produciendo ácido acético, CO<sub>2</sub> e hidrógeno que son los sustratos de las bacterias metanogénicas.

**Metanogénica.-** Se produce metano a partir de CO<sub>2</sub> e hidrógeno, por la acción de la actividad de bacterias metanogénicas.

La degradación anaerobia es producida por bacterias metanogénicas (en su tercera fase) que participan en la descomposición de desechos orgánicos en un ambiente húmedo, sin oxígeno y con una temperatura adecuada (aproximadamente 35°C, a menor temperatura se requiere de más tiempo para producir la digestión anaerobia). También se requieren de otros parámetros como:



**FIGURA 3:** Fase de Fermentación Anaerobia

**FUENTE:** Tomado de McInerney and Beyant (1980)

### **1.6.2. ENTRADA DEL AFLUENTE**

Normalmente, el afluente se introduce por la parte superior del digestor y el sobrenadante se extrae por el lado contrario.

### **1.6.3. SALIDA DEL EFLUENTE**

En un digestor de cubierta fija puede haber de 3 a 5 tubos de sobrenadante colocados a distintos niveles, o un único tubo con válvulas a distintos niveles, para la extracción del mismo. Por regla general, se elige aquel nivel que extraiga un efluente de mejor calidad (con la menor cantidad posible de sólidos).

### **1.6.4. EXTRACCIÓN DE LODOS**

Las tuberías de extracción de lodos suelen estar colocadas sobre bloques a lo largo del suelo inclinado del digestor. El lodo se extrae por el centro del reactor. Estas tuberías tienen, por lo general, 15 cm de diámetro o van equipadas con válvulas tapón para evitar obstrucciones, y se utilizan para llevar periódicamente el lodo del digestor a un sistema de evacuación de lodos.

### **1.6.5. SISTEMA DE GAS**

El proceso de digestión anaerobia produce de 400 a 700 litros de gas por cada kilogramo de materia orgánica degradada, según las características del influente. El gas se compone fundamentalmente de metano y anhídrido carbónico. 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%. Uno o dos por ciento del gas del digestor se compone de otros gases.

Debido a la presencia de metano (60%), el gas del digestor posee un poder calorífico aproximado de 500 a 600 kilocalorías por litro.

El sistema de gas lo traslada desde el digestor hasta los puntos de consumo o al quemador de gases en exceso. <sup>(17)</sup>

El sistema de gas se compone de las siguientes partes:

- ✓ Cúpula de gas.
- ✓ Válvulas de seguridad y rompedora de vacío.
- ✓ Apagallamas.
- ✓ Válvulas térmicas.
- ✓ Separadores de sedimentos.
- ✓ Purgadores de condensado.
- ✓ Medidores de gas.
- ✓ Manómetros.
- ✓ Reguladores de presión.
- ✓ Almacenamiento del gas.
- ✓ Quemador de los gases sobrantes.

#### **1.6.6. OBJETIVO DEL BIODIGESTOR**

Transformar residuos orgánicos en gases y a la vez reducir las emisiones a la atmósfera con el propósito de obtener energía, permitiendo un bienestar económico, desarrollo social y cultura ambiental. <sup>(17)</sup>

---

<sup>17</sup> [http://www.researchgate.net/publication/40939969\\_Ingeniera\\_ambiental\\_\\_fundamentos\\_entornos\\_tecnologas\\_y\\_sistemas\\_de\\_gestin](http://www.researchgate.net/publication/40939969_Ingeniera_ambiental__fundamentos_entornos_tecnologas_y_sistemas_de_gestin).

### **1.6.7. PROCESOS DENTRO DEL BIODIGESTOR**

El fenómeno de biodigestión ocurre porque existe un grupo de microorganismos bacterianos anaeróbicos presentes en la biomasa, al actuar sobre los desechos orgánicos de origen vegetal y/o animal producen una mezcla de gases con alto contenido de metano ( $\text{CH}_4$ ) llamado biogás, sumamente eficiente si se emplea como combustible. Como resultado de este proceso se generan residuos con un alto grado de concentración de nutrientes y materia orgánica (ideales como fertilizantes) que pueden ser aplicados frescos, pues el tratamiento anaeróbico elimina los malos olores y la proliferación de moscas. Mediante la digestión por bacterias anaeróbicas destruyen microorganismos, huevos de parásitos y semillas de malezas contenidos en las excretas frescas, quedando el fertilizante residual libre de tales gérmenes y plantas indeseables. <sup>(18)</sup>

### **1.6.8. VENTAJAS DE UN BIODIGESTOR**

- ✓ Produce biogás naturalmente, que es combustible.
- ✓ Evita el uso de leña que contribuye a la deforestación.
- ✓ Permite aprovechar residuos orgánicos.
- ✓ El lodo producido en el proceso genera fertilizante.
- ✓ Promueve el desarrollo sustentable evitando la emisión de gases de efecto invernadero.
- ✓ Elimina problemas de sanidad: evita malos olores, insectos y controla los microorganismos capaces de generar enfermedades.
- ✓ Obtención de beneficios adicionales por la venta de bonos de carbono.
- ✓ Cumple con la normatividad nacional e internacional.
- ✓ Impide la contaminación de mantos acuíferos.

---

<sup>18</sup> <http://www.dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1938/12/UPSCT002337.pdf>



- ✓ Permite tener personal especializado en esta rama.
- ✓ Existe la opción de incursionar en proyectos de vanguardia.
- ✓ El biogás presenta menos riesgo a la seguridad familiar en relación al gas de uso doméstico.
- ✓ Reducción del trabajo de los campesinos, principalmente de mujeres y niños debido a que dejan de buscar leña en lugares lejanos.
- ✓ Diversidad de usos (alumbrado, cocción de alimentos, producción de energía eléctrica, transporte automotor y otros).
- ✓ Mejoramiento de las condiciones de saneamiento ambiental a través de la reutilización y transformación de los desechos orgánicos, como las excretas de animales (generalmente vacunos) contaminantes del ambiente y fuente de enfermedades para seres humanos y animales.
- ✓ Complementa y promueve un modelo de gestión integral sustentable de la finca y del manejo de sus recursos naturales.

#### **1.6.9. DESVENTAJAS Y RIESGOS DE UN BIODIGESTOR**

- ✓ Su ubicación debe estar cercana al almacén donde se tiene la materia orgánica.
- ✓ Requiere de un trabajo diario y constante, sobre todo para la carga de la materia orgánica.
- ✓ La temperatura debe ser entre 15 y 60°C, lo que encarece el proceso en climas fríos.
- ✓ El biogás dentro de su composición tiene el subproducto llamado sulfuro de hidrógeno, que es un gas tóxico al ser humano y corrosivo a todo equipo del proceso.

- ✓ Existe riesgo de explosión o incendios, en caso de no cumplirse las normas de seguridad, mantenimiento y del personal.
- ✓ Dependiendo del modelo, requieren de mucho cuidado sobre todo cuando son contruidos con plásticos, ya que éstos pueden ser fácilmente cortados y quedar inutilizados. Otros modelos pueden ser también de costos elevados aunque de mayor duración. <sup>(19)</sup>

### **1.7. CRITERIOS A CONSIDERAR EN EL DISEÑO DE UN BIODIGESTOR:**

Los siguientes aspectos a tener en cuenta en el diseño, planificación y construcción de un biodigestor son:

- ✓ Nivel de participación y responsabilidad por parte de los propietarios que van a implementar un biodigestor.
- ✓ Que la familia cuente con toda la información técnica para la implementación y manejo de un biodigestor.
- ✓ Compromisos de la familia: tiempo para el mantenimiento, recursos económicos para la compra de materiales de construcción, mano de obra, área disponible para la construcción.
- ✓ Necesidades correctamente identificadas para la implementación del biodigestor, por ejemplo: sanitaria, energética (biogás), fertilizantes, otros.
- ✓ Disponibilidad de materia prima, desechos pecuarios o domésticos.
- ✓ Visión integral de la gestión ambiental y producción agropecuaria de su actividad productiva.

---

<sup>19</sup> [http://www.fao.org/alc/file/media/pubs/2011/manual\\_biogas.pdf](http://www.fao.org/alc/file/media/pubs/2011/manual_biogas.pdf)

- ✓ Diseño de prototipo configurados o adaptados a cada una de sus realidades locales.

## **1.8. CLASIFICACIÓN DE LOS DIGESTORES**

Los digestores anaeróbicos pueden clasificarse de la siguiente manera.

### **1.8.1. SISTEMAS BATCH O DISCONTINUOS**

Es aquel en donde el residuo se deposita al inicio del proceso y la descarga se hace hasta que finaliza; requiere de mayor mano de obra, un espacio para almacenar la materia prima y un depósito de gas.

### **1.8.2. SISTEMAS SEMICONTINUOS**

Es el tipo de digestor más usado en el medio rural, cuando se trata de digestores pequeños para uso doméstico. Los diseños más populares son el hindú y el chino

Entre los de tipo hindú existen varios diseños, pero en general son verticales y enterrados. Se cargan 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.

#### **Ventajas**

- ✓ Pueden procesarse una gran variedad de materiales La carga puede juntarse en campo abierto porque, aunque tenga tierra u otro inerte mezclado, no entorpece la operación del Biodigestor.

- ✓ Admiten cargas secas que no absorban humedad, así como de materiales que flotan en el agua.
- ✓ Su trabajo en ciclos, los hace especialmente aptos para los casos en que la disponibilidad de materia prima no sea continua, sino periódica.
- ✓ No requiere prácticamente ninguna atención diaria.

**Las principales desventajas son:**

- ✓ La carga requiere un considerable y paciente trabajo.
- ✓ La descarga, también es una operación trabajosa.

### **1.8.3. SISTEMAS CONTINUOS**

Son aquellos en donde el residuo se descarga de manera continua o por lo menos una vez al día, requiere de menos mano de obra, de una mezcla más fluida o movilizadora de manera mecánica y un depósito de gas.

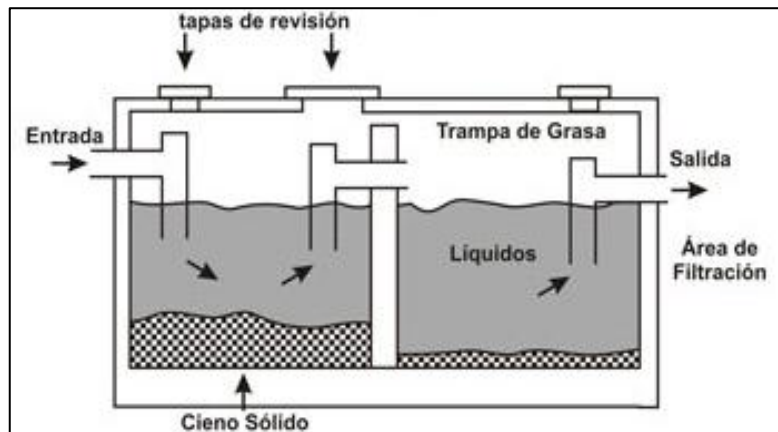
**Ventajas**

- ✓ Permite controlar la digestión, con el grado de precisión que se quiera.
- ✓ Permite corregir cualquier anomalía que se presente en el proceso, en cuanto es destacada.
- ✓ Permite manejar las variables relacionadas, carga específica, tiempo de retención y temperatura, a periodos son del orden de 10 años.
- ✓ La tarea de “puesta en marcha” después del inicial, sólo se vuelve a repetir cuando hay que vaciarlo por razones de mantenimiento.
- ✓ Las operaciones de carga y descarga, de material a procesar y procesados, no requieren ninguna operación especial.

## 1.9. TIPOS DE BIODIGESTORES

En el mercado tecnológico solo existen dos formas y se mencionan a continuación:

**POZOS SÉPTICOS.-** Es el más antiguo y sencillo digestor anaerobio que se conoce, utilizado normalmente para la disposición de aguas residuales domésticas. Se cree que de allí deriva el uso potencial de los gases producidos por la fermentación anaeróbica, para el uso doméstico.

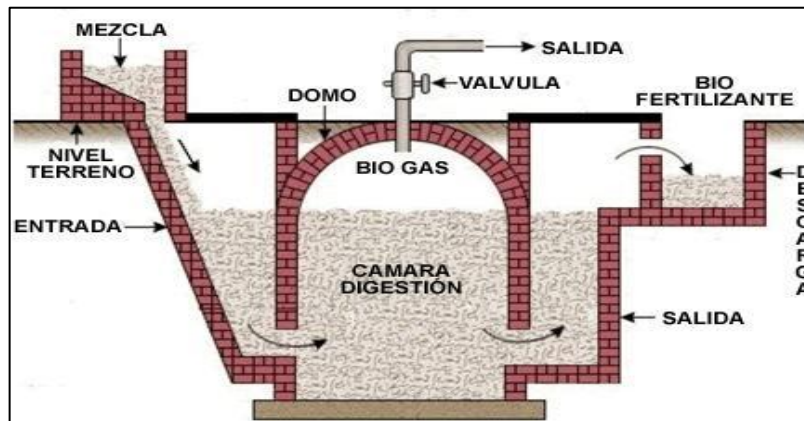


**FIGURA 4:** Biodigestor de pozo séptico poner cuadro

**FUENTE:** Digestión Anaerobia para el Tratamiento de Residuos Orgánicos.

**DIGESTOR DEL DOMO FLOTANTE (Indio).-** La planta con domo flotante se compone de un digestor en forma de bóveda esférica (o cilíndrica) y un depósito de gas móvil en forma de campana flotante. La campana puede flotar directamente en la masa de fermentación o en un anillo de agua cilíndrico.

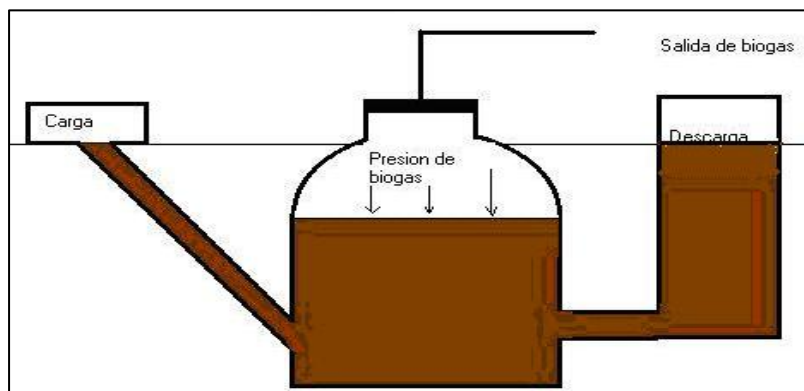
El gas se acumula en la campana, haciéndola subir y luego vuelve a bajar cuando se extrae el gas a través de un tubo instalado en la campana misma. Para evitar que la campana se ladee, se construye un soporte de hierro como guía.



**FIGURA 5:** Biodigestor HINDÚ

**FUENTE:** Digestión Anaerobia para el Tratamiento de Residuos Orgánicos

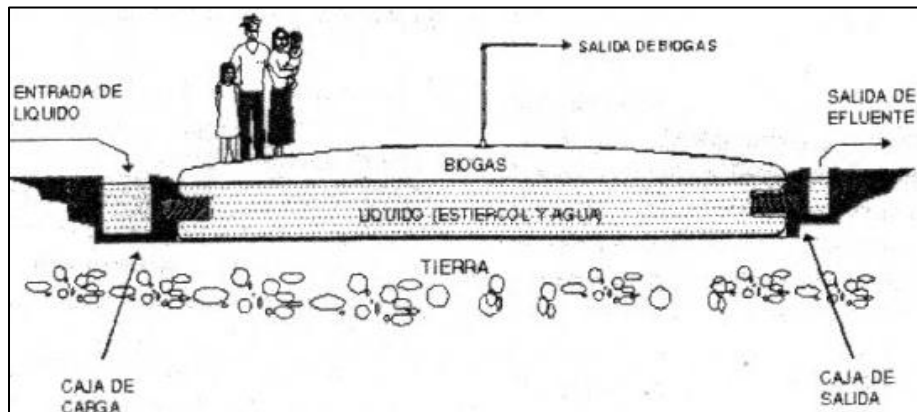
**DIGESTOR DE DOMO FIJO (Chino).**- Este reactor consiste en una cámara de gas-firme construida de ladrillos, piedra u hormigón. La cima y “fondos son hemisféricos y son unidos por lados rectos. La superficie interior es sellada por muchas capas delgadas de mortero para hacerlo firme.



**FIGURA 6:** Biodigestor CHINO

**FUENTE:** Digestión Anaerobia para el Tratamiento de Residuos Orgánicos.

**BIODIGESTOR DE ESTRUCTURA FLEXIBLE (Polietileno).**- La inversión alta que exigía construir el digestor de estructura fija resultaba una limitante para el bajo ingreso de los pequeños granjeros. Esto motivó a ingenieros en la Provincia de Taiwán en los años sesenta a hacer digestores de materiales flexibles más baratos. Inicialmente se usaron nylon y neopreno pero ellos demostraron ser relativamente costoso.



**FIGURA 7:** Biodigestor de estructura flexible

**FUENTE:** Digestión Anaerobia para el Tratamiento de Residuos Orgánicos

### 1.10. ESTRUCTURA DE UN BIODIGESTOR:

Constan de dos partes:

- a) Cámara de fermentación en donde la biomasa sufre la descomposición.
- b) Cámara de almacén de gas. Existen también las siguientes, pero varían según el tipo de biodigestor:

- ✓ La pila de carga. Ingresa el residuo.
- ✓ La pila de descarga. Se obtiene el residuo usado.
- ✓ El agitador. Remueve los residuos.
- ✓ La tubería de gas. Salida para su uso.

### **1.10.1. INVERSIÓN PARA UN BIODIGESTOR:**

Puede ser a través de las siguientes modalidades:

- a) Recursos propios, en donde el interesado en contar con esta tecnología solventará todos los costos del proyecto, dado que tiene la solvencia económica para llevarlo a cabo.
- b) La segunda se aplica cuando el capital requerido del proyecto estimado no es suficiente, por eso se busca financiamiento, apoyo y benéficos del Gobierno a través de Programas Nacionales de Desarrollo de Bioenergéticas por medio de las instituciones gubernamentales y privadas correspondientes.

Estos planes consisten en ofrecer montos para la construcción de biodigestor para generar electricidad. Cabe aclarar que la cantidad prestada y apoyo dependerá de la situación financiera del solicitante-tamaño-costos producción y que el beneficiario aporte el 50% o más de la inversión, ya que existe un acuerdo entre ambas partes se fija la tasa de interés, el plazo de pago, la posibilidad de algún periodo de gracia, el beneficio en la tasa de interés; siempre y cuando tenga garantías, comisión de apertura, apoyo para el desarrollo de documentos e inclusión de Mecanismos de Desarrollo Limpio. Esta propuesta se considera una buena oportunidad para seguir potencializando la infraestructura nacional.

(20)

### **1.11. USOS DE BIOGÁS Y BIOL (FERTILIZANTE)**

El biol es un abono orgánico líquido producto de los procesos de digestión anaerobia, contiene nutrientes que pueden ser fácilmente asimilados por las plantas haciéndolas más vigorosas y resistentes, el biol es considerado un excelente fertilizante debido a que la digestión anaerobia a diferencia de la descomposición de la materia orgánica al aire libre, no permite que exista gran pérdida de los nutrientes originales contenidos en la materia prima.

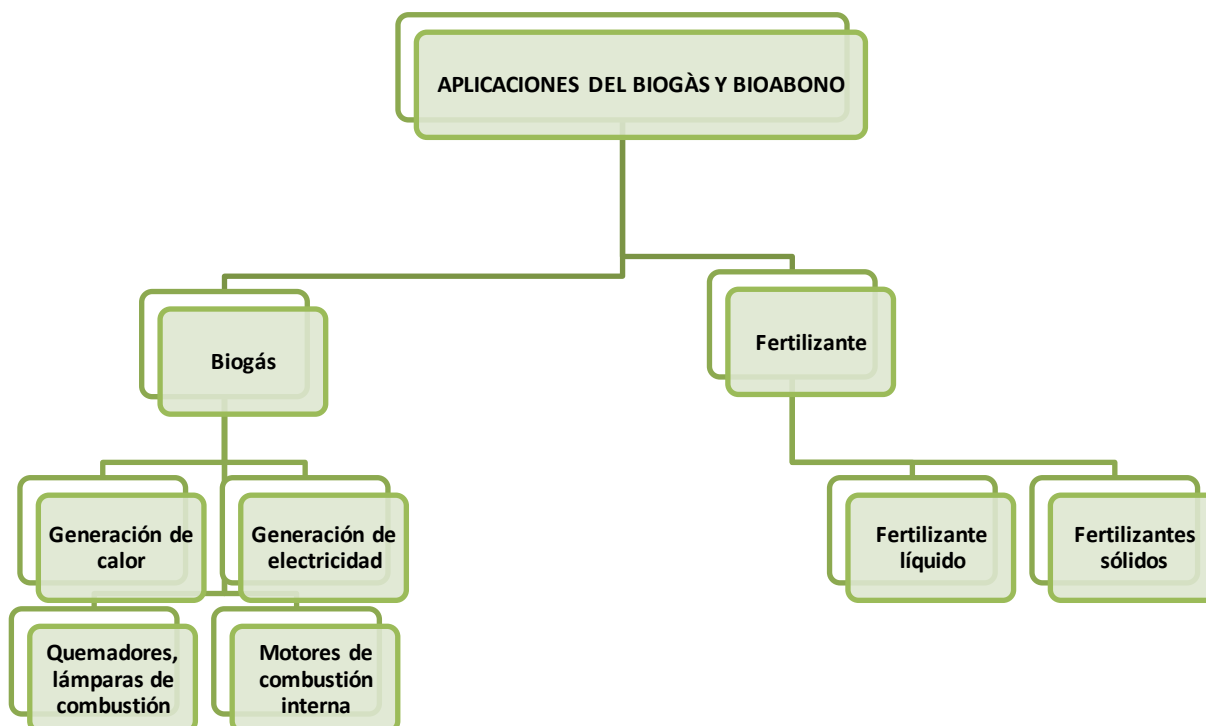
---

<sup>20</sup> <http://www.chapingo.mx/dima/contenido/tesis2011/tesisPascual.pdf>



El biogás y biol son el resultado de la descomposición de la materia orgánica dentro del biodigestor (sin presencia de oxígeno), el biol por lo general contiene nutrientes fácilmente asimilados por las plantas, en tanto que el biogás puede ser utilizado en la generación de calor entre otros. <sup>(21)</sup>

El biogás y biol (fertilizante) pueden ser utilizados de la siguiente forma:



**FIGURA 8:** Usos y Aplicaciones del Biogás y Bioabono

**FUENTE:** KUMAR S. Anaerobic reactor configurations for bioenergy production.

<sup>21</sup> <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/999/1/100164.pdf>

## **1.12. MARCO LEGAL**

### **1.12.1. CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR**

Art.3. Deberes primordiales del Estado, numeral 7.-“Proteger el patrimonio natural y cultural del país”.

Art.14. “Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak Kawsay*”.

### **1.12.2. DERECHOS DE LA NATURALEZA**

**Art. 71.-** La naturaleza o Pacha Mama, donde se reproduce y realiza la vida, tiene derecho a que se respete integralmente su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos. Toda persona, comunidad, pueblo o nacionalidad podrá exigir a la autoridad pública el cumplimiento de los derechos de la naturaleza. Para aplicar e interpretar estos derechos se observaran los principios establecidos en la Constitución, en lo que proceda. El Estado incentivará a las personas naturales y jurídicas, y a los colectivos, para que protejan la naturaleza, y promoverá el respeto a todos los elementos que forman un ecosistema.

**Art. 73.-** El Estado aplicará medidas de precaución y restricción para las actividades que puedan conducir a la extinción de especies, la destrucción de ecosistemas o la alteración permanente de los ciclos naturales.

Se prohíbe la introducción de organismos y material orgánico e inorgánico que puedan alterar de manera definitiva el patrimonio genético nacional.

**Art. 313.-** El Estado se reserva el derecho de administrar, regular, controlar y gestionar los sectores estratégicos, de conformidad con los principios de sostenibilidad ambiental, precaución, prevención y eficiencia. Los sectores estratégicos, de decisión y control

exclusivo del Estado, son aquellos que por su trascendencia y magnitud tienen decisiva influencia económica, social, política o ambiental, y deberán orientarse al pleno desarrollo de los derechos y al interés social. Se consideran sectores estratégicos la energía en todas sus formas, las telecomunicaciones, los recursos naturales no renovables, el transporte y la refinación de hidrocarburos, la biodiversidad y el patrimonio genético, el espectro radioeléctrico, el agua, y los demás que determine la ley.

**Art. 317.-** Los recursos naturales no renovables pertenecen al patrimonio inalienable e imprescriptible del Estado. En su gestión, el estado priorizará la responsabilidad intergeneracional, la conservación de la naturaleza, el cobro de regalías u otras contribuciones no tributarias y de participaciones empresariales; y minimizará los impactos negativos de carácter ambiental, cultural, social y económico. <sup>(22)</sup>

### **1.12.3. TEXTO UNIFICADO DE LA LEGISLACIÓN AMBIENTAL SECUNDARIA LIBRO VI ANEXO 1.**

La presente norma técnica ambiental es dictada bajo el amparo de la Ley de Gestión Ambiental y del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental y se somete a las disposiciones de éstos, es de aplicación obligatoria y rige en todo el territorio nacional.

La presente norma técnica determina o establece:

- a) Los límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para las descargas en cuerpos de aguas o sistemas de alcantarillado;
- b) Los criterios de calidad de las aguas para sus distintos usos; y,
- c) Métodos y procedimientos para determinar la presencia de contaminantes en el agua.

✓ **Normas generales de criterios de calidad para los usos de las aguas superficiales, subterráneas, marítimas y de estuarios.**

---

<sup>22</sup> [http://www.asambleanacional.gov.ec/documento/constitucion\\_de\\_bolsillo2008.pdf](http://www.asambleanacional.gov.ec/documento/constitucion_de_bolsillo2008.pdf)

La norma tendrá en cuenta los siguientes usos del agua:

- a) Consumo humano y uso doméstico.
- b) Preservación de Flora y Fauna.
- c) Agrícola.
- d) Pecuario.
- e) Recreativo.
- f) Industrial.
- g) Transporte.
- h) Estético.

En los casos en los que se concedan derechos de aprovechamiento de aguas con fines múltiples, los criterios de calidad para el uso de aguas, corresponderán a los valores más restrictivos para cada referencia.

### **Criterios de calidad para aguas de consumo humano y uso doméstico**

Se entiende por agua para consumo humano y uso doméstico aquella que se emplea en actividades como:

- a) Bebida y preparación de alimentos para consumo,
- b) Satisfacción de necesidades domésticas, individuales o colectivas, tales como higiene personal y limpieza de elementos, materiales o utensilios,
- c) Fabricación o procesamiento de alimentos en general.

Esta Norma se aplica durante la captación de la misma y se refiere a las aguas para consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieran de tratamiento convencional, deberán cumplir con los siguientes criterios (ver tabla 12)

## Criterios de calidad de aguas de uso agrícola o de riego

Se entiende por agua de uso agrícola aquella empleada para la irrigación de cultivos y otras actividades conexas o complementarias que establezcan los organismos competentes. Se prohíbe el uso de aguas servidas para riego, exceptuándose las aguas servidas tratadas y que cumplan con los niveles de calidad establecidos en esta Norma.

Los criterios de calidad admisibles para las aguas destinadas a uso agrícola se presentan a continuación (ver tabla 13).<sup>(23)</sup>

**TABLA XII:** Criterios de Calidad para aguas de Consumo Humano y Doméstico.

| PARÁMETRO                              | COMO                        | UNIDAD            | LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE |
|--|-----------------------------|-------------------|--------------------------|
| Aceites y grasas                       | Sustancia Soluble en Hexano | mg/l              | 0,3                      |
| Aluminio total                         | Al                          | mg/l              | 0,2                      |
| Amoniaco                               | N-Amoniacal                 | mg/l              | 1,0                      |
| Amonio                                 | NH <sub>4</sub>             | mg/l              | 0,05                     |
| Arsénico                               | As                          | mg/l              | 0,05                     |
| Coliformes Fecales                     | NMP                         | NMP/100 ml        | 600                      |
| Coliformes Totales                     | NMP                         | NMP/100 ml        | 3000                     |
| Bario                                  | Ba                          | mg/l              | 1,0                      |
| Cadmio                                 | Cd                          | mg/l              | 0,01                     |
| Cianuro                                | CN <sup>-</sup>             | mg/l              | 0,1                      |
| Zinc                                   | Zn                          | mg/l              | 5,0                      |
| Cloruro                                | Cl                          | mg/l              | 250                      |
| Cobre                                  | Cu                          | mg/l              | 1,0                      |
| Color                                  | Color real                  | Unidades de Color | 100                      |
| Compuesto Fenólicos                    | Fenol                       | mg/l              | 0,002                    |
| Cromo                                  | Cr <sup>+6</sup>            | mg/l              | 0,05                     |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días) | DBO <sub>5</sub>            | mg/l              | <2mg/l                   |
| Dureza                                 | CaCO <sub>3</sub>           | mg/l              | 500                      |
| Hierro total                           | Fe                          | mg/l              | 1,0                      |

<sup>23</sup> ECUADOR., MINISTERIO DEL AMBIENTE., Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio de Ambiente, Libro VI, Anexo 1

|                                 |  |      |   |
|---------------------------------|--|------|---|
| Bifenilo policlorados/PCBs      | Concentración de PCBs totales          | µg/l | 0,0005  |
| Fluoruro (total)                | F                                      | mg/l | 1,5   |
| Materia Flotante                | Visible                                |      | Ausencia  |
| Mercurio                        | Hg                                     | mg/l | 0,002   |
| Nitratos                        | N                                      | mg/l | 10,0  |
| Nitritos                        | N                                      | mg/l | 1,0   |
| Olor y sabor                    |  |      | Es permitido removible por tratamiento convencional |
| Oxígeno Disuelto                | OD                                     | mg/l | >60% del OD Sat.                                    |
| pH                              | pH                                     |      | 6-9   |
| Plata                           | Ag                                     | mg/l | 0,05  |
| Plomo                           | Pb                                     | mg/l | 0,05  |
| Selenio                         | Se                                     | mg/l | 0,01  |
| Sólidos disueltos totales       |  | mg/l | 1 000   |
| Sulfatos                        | SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>          | mg/l | 400   |
| Tensoactivos                    | Sustancias activas al azul de metileno | mg/l | 0,5   |
| Turbiedad                       |  | UTN  | 100   |
| *Productos para la desinfección |  | mg/l | 0,1   |

**FUENTE:** TULSMA TABLA 1. Límites permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional.

**TABLA XIII:** Criterios de Calidad de Aguas de Uso Agrícola o de Riego

| <b>PARÁMETRO</b>       | <b>COMO</b>                               | <b>UNIDAD</b> | <b>LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE</b> |
|------------------------|---|---------------|---------------------------------|
| Aluminio               | Al  | mg/l          | 5,0                             |
| Arsénico (total)       | As  | mg/l          | 0,1                             |
| Bario                  | Ba  | mg/l          | 1,0                             |
| Berilio                | Be  | mg/l          | 0,1                             |
| Boro (total)           | B   | mg/l          | 1,0                             |
| Cadmio                 | Cd  | mg/l          | 0,001                           |
| Cianuro (total)        | CN <sup>-</sup>                           | mg/l          | 0,2                             |
| Carbamatos totales     | Concentración total de carbamatos         | mg/l          | 0,1                             |
| Cobalto                | Co  | mg/l          | 0,05                            |
| Cobre                  | Cu  | mg/l          | 2,0                             |
| Cromo                  | Cr <sup>+6</sup>                          | mg/l          | 0,1                             |
| Flúor                  | F   | mg/l          | 1,0                             |
| Hierro                 | Fe  | mg/l          | 5,0                             |
| Litio                  | Li  | mg/l          | 2,5                             |
| Materia Flotante       | visible                                   |               | Ausencia                        |
| Mercurio               | Hg  | mg/l          | 0,001                           |
| Manganeso              | Mn  | mg/l          | 0,2                             |
| Molibdeno              | Mo  | mg/l          | 0,01                            |
| Níquel                 | Ni  | mg/l          | 0,2                             |
| Organofosforados       | Concentración de organofosforados totales | mg/l          | 0,1                             |
| Organoclorados         | Concentración de organoclorados totales   | mg/l          | 0,2                             |
| Plata                  | Ag  | mg/l          | 0,05                            |
| Potencial de hidrógeno | pH  |               | 6-9                             |
| Plomo                  | Pb  | mg/l          | 5,0                             |
| Selenio                | Se  | mg/l          | 0,02                            |
| Vanadio                | V   | mg/l          | 0,1                             |
| Coliformes fecales     | NMP                                       | NMP/100ml     | 1000                            |
| Huevos de parásitos    |   |               | Ausencia                        |
| Aceites y grasas       | Película Visible                          |               | Ausencia                        |

FUENTE: TULSMA TABLA 6. Criterios de calidad admisibles para aguas de uso agrícola

# **CAPÍTULO II**

## **PARTE EXPERIMENTAL**



## **CAPÍTULO II**

### **2. PARTE EXPERIMENTAL**

La finca los “LAURELES” se encuentra ubicada aproximadamente a unos 17 km de la ciudad de Puerto Francisco de Orellana “El Coca” en la comunidad Flor del Manduro de la parroquia San Luis de Armenia.

En donde se llevara a cabo la investigación, iniciando con la toma de muestra del estiércol, para la caracterización del mismo. (Anexo1.)

#### **2.1. DETERMINACIÓN DE LA CARGA DIARIA DE ESTIÉRCOL EN LA FINCA LOS LAURELES**

Para la determinación del estiércol de la finca los Laureles se contó con los materiales necesarios para su cuantificación, contando con 20 cabezas de ganado los cuales llegan a dormir en el establo durante las noches, la materia prima fue recolectada en un balde de 18 litros de volumen con una pala manual y pesadas con un balanza de gancho. (Anexo 2)

La cuantificación se la realizo durante 6 días (una semana), y recolectadas las muestras solo en las mañanas, debido a que durante el día el ganado sale a su pastoreo regresando por las noches al establo. Como se puede observar en cuadro 1.

**TABLA XIV:** Determinación de la Carga Diaria de Estiércol en la Finca los Laureles

| <b>Experimentación</b>   | <b>Días</b> |  |           |        |                            |        |
|--------------------------|-------------|--|-----------|--------|----------------------------|--------|
|                          | Lunes       | Martes                                 | Miércoles | Jueves | Viernes                    | Sábado |
| N <sup>ro</sup> de reces | 20          | 20                                     | 20        | 20     | 20                         | 20     |
| Estiércol en Kg          | 114         | 116                                    | 122       | 117    | 119                        | 121    |
| Estiércol por res        | 5.70        | 5.8                                    | 6.10      | 5.85   | 5.95                       | 6.10   |
| <b>Promedio de reces</b> | 20          | <b>Promedio de Kg de estiércol/día</b> |           | 118.17 | <b>Desviación Estándar</b> | 3,06   |

**FUENTE:** Autor

El estiércol cuantificado diario en el establo da un promedio de 118.17 kg/día producido, con una Desviación Estándar de 3,06 Kg. tomando en cuenta que solo es el 50 % del total que se debe aprovechar en las 24 horas del día, debido a que solamente en las noches es llevado al establo. (Anexo 3)

## **Materiales**

- ✓ 1 balde de 18 Lt de volumen para pesar el estiércol.
- ✓ 1 pala manual para la recolección del estiércol.
- ✓ Guantes, botas de caucho
- ✓ Una balanza de 50 kg.

## **2.2. MUESTREO**

El muestreo del estiércol se lo llevo a cabo mediante el muestreo aleatorio simple, para después obtener muestras compuestas de campo. (ANEXO 4)

La primera toma de muestra pre degradación del estiércol se la realizo la primera semana de septiembre a una temperatura ambiente de 25 °C, cuyas muestras fueron tomadas en la mañana, para su posterior análisis inmediato en el laboratorio.

La segunda toma de muestra post degradación del estiércol se la realizo 5 días después del primer muestreo pre degradación, así mismo llevadas de inmediato para su análisis en el laboratorio.

### **Materiales**

- ✓ Fundas ziploc
- ✓ Guantes, botas de caucho, mandil,
- ✓ Libreta de apuntes y marcador
- ✓ Pala para homogenizar
- ✓ balde de 4 litros

### **2.3. METODOLOGÍA**

Para la caracterización del estiércol y diseño del Biodigestor, se llevó a cabo mediante la siguiente metodología con el Método Descriptivo y Cuantitativo. (Anexo 1y 4)

- ✓ Conocer la cantidad de estiércol que se produce en la finca los LAURELES.
- ✓ Identificando puntos de muestreo, para obtener muestras compuestas para la caracterización de parámetros del estiércol
- ✓ Realización de cálculos y determinación de dimensiones.
- ✓ Conocimiento e investigación propia
- ✓ Elaboración de planos.

## 2.4. MÉTODOS Y TÉCNICAS

La mayoría de las técnicas analíticas que se realizaron en la parte experimental del proyecto corresponden a las descritas en los Métodos Estándar para el Análisis de Aguas Potables y Residuales (APHA; AWWA; WPCF; 22N ed.).<sup>(24)</sup>

### 2.4.1. DETERMINACIÓN DE POTENCIAL DE HIDROGENO (pH)

#### Método Potenciométrico SM 4500-H<sup>+</sup> B

El pH es un parámetro que nos indica la acidez o alcalinidad del agua, varía de 1 a 14. Si el agua posee un pH menor a 7 se considera ácida, caso contrario básica, igual a 7 neutra.

#### Materiales

- ✓ pH-metro.
- ✓ Un vaso de precipitación de 250 ml.
- ✓ Varilla de agitación

#### Reactivos

- ✓ Soluciones buffer pH 4 y pH 7 y pH10.
- ✓ Agua destilada
- ✓ Muestra de estiércol

---

<sup>24</sup> ESPAÑA., APHA-AWWA-WPCF. Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales., 22N ed.

## **Procedimiento**

1. Calibrar en pH-metro utilizando las soluciones buffer (el siguiente orden 4,7 y 10 de pH)
2. Coloque en un vaso de vidrio limpio un volumen de muestra suficiente como para cubrir al electrodo de vidrio.
3. Sumerja los electrodos en la muestra y suavemente revuelva a una velocidad constante para proporcionar la homogeneidad y suspensión de los sólidos, y esperar hasta que la lectura se estabilice.
4. Anote el valor de la lectura en el protocolo de trabajo.

## **Cálculo**

Lectura directa.

### **2.4.2. DETERMINACIÓN DE LA TEMPERATURA**

#### **Fundamento**

Magnitud que mide el estado térmico de un sistema termodinámico en equilibrio.

#### **Materiales**

- ✓ Termómetro en escala centígrada.

#### **Reactivos**

- ✓ Muestra de estiércol

#### **Procedimiento**

1. Introducir el bulbo del termómetro en la muestra.
2. Esperar unos segundos hasta estabilizar el nivel de mercurio.

3. Anotar el valor de la temperatura

### **Calculo**

Lectura directa.

## **2.4.3. DETERMINACIÓN DE CENIZA**

### **Método Gravimétrico**

#### **Materiales**

- ✓ 4 crisoles o cápsulas de porcelana
- ✓ 1 desecador
- ✓ 1 pinzas largas
- ✓ 1 mufla
- ✓ 1 balanza analítica
- ✓ 1 espátula
- ✓ 1 mechero de Bunsen

#### **Procedimiento**

1. Dejamos 4 crisoles vacios en una mufla por el lapso de 15 minutos a una temperatura de
2. 550° a 600°C, una vez transcurrido este tiempo dejamos enfriar el crisol en un desecador durante 15 a 20 minutos, a continuación pesamos el crisol en la balanza analítica teniendo siempre en cuenta la identificación de cada crisol y procedemos

a anotar el peso, pesamos en el crisol 5 gramos de la muestra seca y registramos el peso exacto.

3. Por otra parte incineramos la muestra (estiércol) con ayuda de la mufla durante 2 horas, pesamos el crisol con cenizas (ya no deben estar negras, si lo están incinere otra media hora) en la misma balanza que utilizamos inicialmente y anotamos el peso.

#### **2.4.4. DETERMINACIÓN DE HUMEDAD**

##### **Método gravimétrico**

Las muestras se desecan a 105°C de temperatura, la humedad hidrosfópica químicamente está enlazada con sustancias de la muestra y depende de la composición e higroscopia del mismo. Se determina la humedad higroscópica de las muestras en la estufa por un tiempo de 12 horas.

##### **Materiales**

- ✓ Balanza analítica
- ✓ Estufa a 105°C
- ✓ 4 crisoles
- ✓ Desecador
- ✓ Espátula
- ✓ Pinza

##### **Procedimiento**

1. Se procede a tarar 4 capsulas colocándolas en la estufa, hasta obtener un peso constante, las llevamos al desecador por 30 minutos y realizamos el primer peso de las capsulas, en cada cápsula se pesa 30 g de muestra (estiércol). A

continuación colocamos estas capsulas con la muestra (estiércol) dentro de la estufa a 105°C durante 12 horas.

2. Transcurrido este tiempo llevamos las cápsulas al desecador para enfriarlo por 30 minutos y las pesamos, procedimos de esta manera hasta obtener un peso constante.

#### **2.4.5. DETERMINACIÓN DE SULFUROS**

##### **Método HACH 8131**

##### **Materiales**

- ✓ Bureta
- ✓ Matraz de 500 ml
- ✓ Pipeta

##### **Reactivos**

- ✓ Ácido clorhídrico HCl 6N
- ✓ Solución patrón de yodo 0.0250N
- ✓ Solución patrón de tiosulfato sódico, 0.0250N
- ✓ Solución de almidón.

##### **Procedimiento**

1. Añadimos con una bureta a un matraz de 500 ml, una cantidad de solución del yodo estimada como un exceso sobre la cantidad de sulfuro presente: Añadimos agua destilada, para llevar el volumen a unos 20 mL. Añadir 2 mL de HCl 6N. Llevar con la pipeta 200 mL de muestra al matraz, descargando la pipeta bajo la



superficie de la solución. Si desaparece el color del yodo, añadir más yodo para mantener el color.

2. Titular por retroceso con solución de tiosulfato sódico, añadiendo unas gotas de solución de almidón al acercarse al punto final, y continuando hasta la desaparición del color azul.
3. Si se ha precipitado el sulfuro de zinc, filtrando ZnS, devuélvase el filtro y precipitado al frasco original y añadir unos 100 mL de agua. Añadir solución de yodo y HCl y valorar como en el apartado anterior.

#### **2.4.6. DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS TOTALES**

##### **Método 2540 B**

Los sólidos totales (ST) se determinaran de las muestras tomadas del estiércol del ganado. La determinación se realizó de acuerdo con el método normalizado 2540 B de la APHA-AWWA-WPFC, por gravimetría.

##### **Materiales**

- ✓ Placas de evaporación: placas de 100 ml de capacidad.
- ✓ Horno de mufla para operar a  $550 \pm 50$  °C.
- ✓ Baño de vapor.
- ✓ Desecador, provisto de un desecante que contiene un indicador colorimétrico de concentración de humedad.
- ✓ Horno de secado, para operaciones a 103-105 °C.
- ✓ Balanza de análisis, capaz de pesar hasta 0,1 mg.

## Procedimiento

1. Preparación de la placa de evaporación: si se va a medir sólidos volátiles, incínese una placa de evaporación limpia a  $550 \pm 50$  °C durante una hora en un horno de mufla. Si solamente se intentan medir sólidos totales, caliéntese la placa limpia a 103-105 °C durante una hora. Consérvese la placa en el desecador hasta que se necesite. Pesar inmediatamente antes de usar.
2. Para el análisis de la muestra: elijase un volumen de muestra que proporcione un residuo entre 2,5 y 200 mg. Transfírase un volumen medido de muestra bien mezclada a la placa pesada previamente y evapórese hasta que se seque en un baño de vapor o un horno de secado. En caso necesario, añádanse a la misma placa, después de la evaporación, nuevas porciones de muestra.
3. Si la evaporación se lleva a cabo en un horno de secado, reducir la temperatura hasta 2°C aproximadamente por debajo del punto de ebullición, a fin de evitar salpicaduras.
4. Secar la muestra evaporada al menos durante una hora en horno a 103-105°C, enfriar la placa en desecador para equilibrar la temperatura y pesar. Repítase el ciclo de secado, enfriado, desecación y pesado hasta obtener un peso constante, o hasta que la pérdida de peso sea menor del 4 por 100 del peso previo o menor de 0,5mg.

## Cálculo

Sólidos totales secados a 105°C

### Ecuación 2

$$ST \left( \frac{mg}{L} \right) = \frac{P(\text{residuo} + \text{vaso}) - P(\text{vaso}) * 1000}{V(\text{muestra})}$$

## 2.4.7. DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS VOLÁTILES

### Método gravimétrico

Los sólidos volátiles totales (SV) se determinaron, a partir del residuo seco obtenido en la determinación de la humedad (ST).

El residuo del desecamiento que corresponde después de realizar la humedad se calcina a 550°C hasta que se hayan quemado los humos blancos.

### Materiales

- ✓ Cisoles de porcelana
- ✓ Balanza analítica
- ✓ Estufa
- ✓ Mufla
- ✓ Desecador
- ✓ Pinza de crisol

### Procedimiento

1. Se procede a tarar 4 capsulas colocándolas en la estufa, hasta obtener un peso constante, las llevamos al desecador por 30 minutos y realizamos el primer peso de las capsulas, en cada cápsula se pesa 5 g de muestra (estiercol seco).
2. La muestra desecada a 105°C y pesada colocar en la mufla durante 20 minutos o hasta que se hayan quemado los humos blancos. Colocar en el desecador por media hora. Pesar y por diferencia de peso, determinar el porcentaje de sólidos volátiles.

### Cálculos

Dónde:

SV= sólidos volátiles.

p1= g de estiércol seco.

p2= g estiércol quemado los humos blancos.

### Ecuación 3

$$\% S.V = (P1 - P2) * 100$$

## 2.4.8. DETERMINACIÓN DE DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO<sub>5</sub>)

### Método SM 5210 B

El método se basa en la determinación del oxígeno disuelto en las muestras. La diferencia entre el contenido de oxígeno en las dos muestras antes y después del período de incubación da valor el valor de la DBO<sub>5</sub> y DQO, valor expresado en ppm.

Se diluye oportunamente la muestra con agua pura aireada, se divide esta dilución en tres alícuotas. Sobre la primera se determina inmediatamente el contenido de oxígeno disuelto después de haberlo conservado por cinco días a 20°C en la oscuridad.

### Materiales

- ✓ Balón aforado de 1000 mL con la tapa
- ✓ Pipetas graduadas y volumétricas de diferentes volúmenes
- ✓ Vaso de precipitación
- ✓ Erlenmeyer
- ✓ Bureta
- ✓ Estufa termostato a 20 °C o a temperatura ambiente

- ✓ Recipiente para la reserva de agua de dilución
- ✓ Botellas para la determinación de oxígeno disuelto (Winkler)
- ✓ Pipeta

### **Procedimiento**

1. Se debe analizar primeramente si esta muestra necesita o no de una dilución.
2. En caso que se haga o no dilución, tomar 10 mL de muestra y colocar en un balón de 1000 mL.
3. Colocar 2 mL de buffer pH 6.5 - 8.5
4. Añadir 1 mL de solución de cloruro férrico.
5. Añadir 1 mL de sulfato de magnesio o su cloruro
6. Añadir 1 mL de cloruro de calcio
7. Aforar 1000mL con agua aireada o burbujeada.
8. Colocar en los frascos de cuello y tapa esmerilada, no importa si rebasa su capacidad, tapar. Siempre se debe preparar dos análisis distintos de la muestra al mismo tiempo, el frasco se titula al momento para dosificar el contenido de oxígeno al tiempo cero, según el método de Winkler.
9. Los otros frascos se deben incubar a 20 °C, y en la oscuridad por el espacio de cinco días, luego se determina el oxígeno existente.
10. Antes de titular las muestras anteriormente indicadas se debe añadir 1 mL de sulfato manganoso, 2 mL de solución de acida sódica. Lo que provoca la precipitación de oxígeno presente en el momento de la muestra.
11. Dejar que se precipite todo por el espacio de 20 minutos.
12. Disolver el precipitado con 2 mL de ácido sulfúrico concentrado.

13. Titular con tiosulfato, hasta viraje de color de amarillo, a paja pálida donde se añade almidón y luego seguir titulando hasta transparente donde indica el punto final de la titulación.

### **Cálculo**

$$DB05 \text{ [mg/l]} = B - M$$

### **Dónde:**

B= mg/l de O<sub>2</sub> en el blanco

M= mg/l de O<sub>2</sub> en las muestras, promedio de dos determinaciones

Los resultados se reportan redondeados:

|                |        |
|----------------|--------|
| <100 mg/L      | 1 mg/L |
| 100 – 500 mg/L | 5 mg/L |
| >500 mg/L      | 10 g/L |

## **2.4.9. DETERMINACIÓN DE DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)**

### **Método HACH 8000**

Hervir por dos horas a reflujo la muestra con dicromato de potasio (solución ácida) utilizando sulfato de plata como catalizador de la oxidación; el exceso se titula con FAS (sulfato ferroso amoniacal). Las sustancias orgánicas son oxidadas, y la cantidad de materia oxidable es proporcional al dicromato de potasio que se consume.

### **Materiales**

- ✓ Un equipo de reflujo (refrigerante de bolas)

- ✓ Balones de vidrio de cuello esmerilado
- ✓ Reverbero
- ✓ Bureta
- ✓ Pipetas
- ✓ Probetas
- ✓ Espátula

### **Reactivos**

- ✓ Solución de dicromato de potasio patrón 0,25N
- ✓ Reactivo acido-sulfúrico
- ✓ Solución indicadora de ferroina
- ✓ Sulfato de amonio ferroso (SAF) patrón para titulación 0,10M.
- ✓ Ácido sulfámico

### **Procedimiento**

1. Colocar 25 mL de la muestra en el balón del equipo de reflujo
2. Añadir 10mL de dicromato de potasio 0.25 N, una pequeña cantidad de sulfato de plata y núcleos de ebullición.
3. Añadir lentamente 30 mL de ácido sulfúrico concentrado, mezclar todo con movimiento de rotación y añadir 10 mL de agua destilada en el refrigerante.
4. Someter a reflujo en la misma forma un testigo con agua destilada junto con todos los reactivos.
5. Pasada las dos horas enfriar unos minutos, lavar el refrigerante con 100 mL de agua destilada, se deja enfriar hasta temperatura ambiente.

6. Adicionar 2-3 gotas de ferroína y se titula con solución de sulfato ferroso normalizado (0.25 N) hasta que el viraje de verde azulado pase a pardo rojizo.
7. Titular también el blanco.

### **Cálculo**

Calcule la DQO en la muestra en mg/L como sigue:

#### **Ecuación 4**

$$DQO \left( \frac{mg}{L} \right) = \frac{(A - B) * N * 8000}{S}$$

### **Dónde**

A = ml de solución FAS requeridos para titular el Blanco.

B = ml de solución FAS requeridos para titular la Muestra.

N= Normalidad, Concentración de solución FAS.

S = ml de Muestra usada en el ensayo.

## **2.4.10. COLIFORMES TOTALES Y FECALES**

### **Método SM 9222 B y SM 9222 D**

La bacteria *Escherichia coli*, y el grupo Coliformes en su conjunto son los organismos más comunes utilizados como indicadores de la contaminación fecal del agua. Las bacterias Coliformes que residen en el intestino grueso y abundan en las aguas negras. Los análisis bacteriológicos se expresan en términos del número más probable (índice NMP) en 100 ml de agua.

### **Materiales**

- ✓ Sistema de filtración



- ✓ Mechero Bunsen
- ✓ Estufa de incubación
- ✓ Nevera
- ✓ Contador de
- ✓ colonias
- ✓ Pipeta automática
- ✓ Cajas Petri 60x15 mm
- ✓ Pinzas metálicas
- ✓ Puntas desechables de 5 y 1 ml
- ✓ Filtros de membrana estériles de  $0,45 \pm 0,02 \mu\text{m}$

### **Reactivos**

- ✓ Medio de Cultivo m-FC
- ✓ Ampollas de 2 ml con ácido rosálico
- ✓ Diluyente Buffer Fosfato
- ✓ Alcohol etílico antiséptico.

### **Procedimiento**

1. Una cantidad predeterminada de muestra es filtrada a través de un filtro membrana el cual retiene las bacterias encontradas en la muestra.
2. En el procedimiento de enriquecimiento de dos pasos, los filtros que contienen las bacterias son colocados en cartón absorbente saturado de caldo m-FC con ácido rosálico, e incubado invertido  $44.5^{\circ}\text{C} \pm 0.3^{\circ}\text{C}$  por 24 horas  $\pm 2$ , las colonias azules son contadas bajo magnificación y reportadas en 100 ml de muestra; en alguno

casos las colonias pueden ser de color rosa, debido a una insuficiente cantidad de medio de cultivo o una inadecuada dilución.

### **Cálculo de la Densidad de Coliformes Fecales**

Reporte la densidad como Coliformes fecales en/100 ml calcule usando la siguiente ecuación:

#### **Ecuación 5**

$$\text{Coliformes fecales/100ml} = \frac{Cc * 100 * +f}{M}$$

#### **Dónde**

CC.: colonias de Cf contadas en la placa (o promedio de duplicados).

f: factor de dilución.

M: volumen de muestra filtrada.

## **2.5. DATOS EXPERIMENTALES**

### **2.5.1. SELECCIÓN DEL MODELO DEL BIODIGESTOR**

Para la selección del Biodigestor se toma muy en cuenta las matrices de decisión ya que éstas nos brindan una selección más adecuada dependiendo del lugar en donde se vaya a llevar a cabo la construcción del Biodigestor, teniendo en cuenta que en la finca los Laureles se pueden implementar estos tipos.

- ✓ Digestor de domo flotante o “HINDÚ”
- ✓ Digestor de domo fijo o “CHINO”
- ✓ Estructura flexible “POLIETILENO”

Para su selección se elabora una matriz de selección, una por cada tipo de digestor la cual se califica mediante condiciones del lugar y se escoge la calificación más alta y es cual se llevara a cabo su diseño.

### **2.5.2. MATRIZ DE DECISIÓN**

Las matrices de decisión se realizan para la preselección de un diseño más adecuado de digestor, mediante las cuales se califica los digestores y según su calificación se escoge el más idóneo para el lugar, evaluando aspectos fundamentales para su funcionamiento tales como.

- ✓ Tipo de materia prima
- ✓ Vida útil
- ✓ Requerimiento de área
- ✓ Costos
- ✓ Construcción
- ✓ Operación y Mantenimiento
- ✓ Rendimiento

### **2.5.3. DIMENSIONAMIENTO DEL BIODIGESTOR**

Para el dimensionamiento del Biodigestor se realiza con la información disponible principalmente la carga diaria, resultado de sólidos totales, el consumo de energía en la finca los Laureles y el tiempo de retención, utilizando fórmulas para su dimensionamiento y tomando en cuenta los parámetros de diseño como el volumen del Biodigestor, tiempo de retención, carga diaria, altura del equipo, diámetro del equipo y biogás producido.

#### **2.5.4. CÁLCULOS DEL DIMENSIONAMIENTO DEL BIODIGESTOR**

Para los cálculos correspondientes al diseño del Biodigestor para generar biogás, se realiza a partir de la cantidad de estiércol que se generan a diario en la finca los Laureles o a su vez de la cantidad de energía necesaria en la finca, seleccionando así el tamaño del Biodigestor.

#### **2.5.5. ELABORACIÓN DE PLANOS**

La elaboración de planos se la realiza para poder identificar y visualizar la forma que tiene el Biodigestor, ya que solo con dimensionamiento numérico con fórmulas no se puede observar su estructura, por lo cual se realiza los diseños de planos utilizando como software el AutoCAD 2013, el mismo que nos permite realizar un diseño a escala.

# **CAPÍTULO III**

## **LÍNEA DE INVESTIGACIÓN**

## **CAPÍTULO III**

### **3. LÍNEA DE INVESTIGACIÓN**

#### **3.1. RESULTADOS**

Para la caracterización del estiércol de ganado vacuno de raza Media Sangre y Broncis, con un promedio de edad de 3 años, y un peso promedio de 300 Kg, se realizó la toma muestras compuestas, los resultados de los análisis se pueden observar en el Anexo 5.

#### **3.2. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS FÍSICO, QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS DE LAS MUESTRAS DE ESTIÉRCOL PRE Y POST DEGRADACIÓN.**

##### **3.2.1. POTENCIAL DE HIDROGENO (pH)**

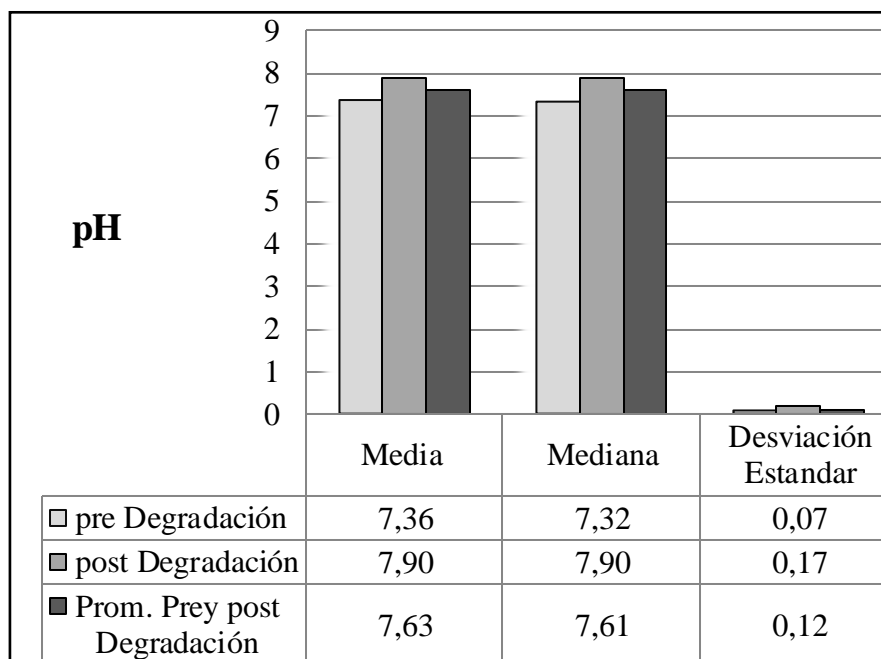
Las muestras de estiércol que se tomaron en pre degradación presentan una media de pH = 7,36 y las muestras post degradación presentan una media de pH = 7,90 lo cual

demuestras que en pre y post degradación es un pH óptimo para la digestión metanogénica. Como se puede observar en la figura 9.

**TABLA XV:** Determinación de pH pre y post Degradación

| Experimentación                           | Estiércol pre Degradación (pH) | Experimentación            | Estiércol post Degradación (pH) |
|---|--------------------------------|----------------------------|---------------------------------|
| Muestra 1                                 | 7,47                           | Muestra 5                  | 7,92                            |
| Muestra 2                                 | 7,32                           | Muestra 6                  | 8,10                            |
| Muestra 3                                 | 7,32                           | Muestra 7                  | 7,88                            |
| Muestra 4                                 | 7,32                           | Muestra 8                  | 7,68                            |
| <b>Media</b>                              | <b>7,36</b>                    | <b>Media</b>               | <b>7,90</b>                     |
| <b>Mediana</b>                            | <b>7,32</b>                    | <b>Mediana</b>             | <b>7,90</b>                     |
| <b>Desviación Estándar</b>                | <b>0,07</b>                    | <b>Desviación Estándar</b> | <b>0,17</b>                     |
| <b>Promedio pre y post Degradación pH</b> |                                |                            |                                 |
| <b>Media</b>                              |                                | 7,63                       |                                 |
| <b>Mediana</b>                            |                                | 7,61                       |                                 |
| <b>Desviación Estándar</b>                |                                | 0,12                       |                                 |

FUENTE: Autor



**FIGURA 9:** Comparación de pH pre y post Degradación del Estiércol

FUENTE: Autor

En cuanto a los resultados obtenidos y de acuerdo a datos en bibliografía, los microorganismos anaerobios llevan a cabo la digestión metanogénica en un pH cercano al neutro, por tanto los resultados de laboratorio nos dan un promedio de pH = 7,63 se encuentra en un valor óptimo para que llevar a cabo la degradación anaerobia.

### 3.2.2. TEMPERATURA

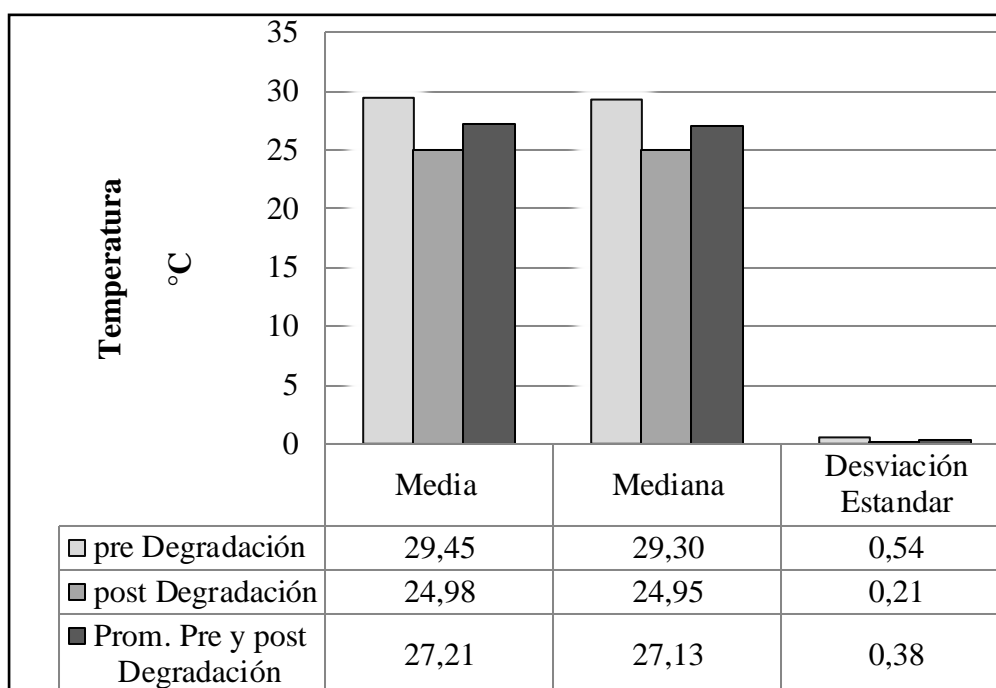
La temperatura presente en pre degradación presenta una media de  $T = 29,45\text{ }^{\circ}\text{C}$  y la post degradación una media de  $T = 24,98\text{ }^{\circ}\text{C}$  lo cual demuestra que la temperatura es adecuada por encontrarse cercana a las temperaturas ideales para la producción de biogás. Como se puede observar en la figura 10.

**TABLA XVI:** Determinación de Temperatura pre y post Degradación

| <b>Experimentación</b>                      | <b>Estiércol pre Degradación (T °C)</b> | <b>Experimentación</b>     | <b>Estiércol post Degradación (T °C)</b> |
|---|---|----------------------------|--|
| Muestra 1                                   | 29,50                                   | Muestra 5                  | 25,1                                     |
| Muestra 2                                   | 30,20                                   | Muestra 6                  | 25,20                                    |
| Muestra 3                                   | 29,10                                   | Muestra 7                  | 24,8                                     |
| Muestra 4                                   | 29,00                                   | Muestra 8                  | 24,8                                     |
| <b>Media</b>                                | <b>29,45</b>                            | <b>Media</b>               | <b>24,98</b>                             |
| <b>Mediana</b>                              | <b>29,30</b>                            | <b>Mediana</b>             | <b>24,95</b>                             |
| <b>Desviación Estándar</b>                  | <b>0,54</b>                             | <b>Desviación Estándar</b> | <b>0,21</b>                              |
| <b>Promedio pre y post Degradación T °C</b> |   |                            |  |
| <b>Media</b>                                |   | 27,21                      |  |
| <b>Mediana</b>                              |   | 27,13                      |  |
| <b>Desviación Estándar</b>                  |   | 0,38                       |  |

**FUENTE:** Autor





**FIGURA 10:** Comparación de Temperatura pre y post Degradación del Estiércol  
**FUENTE:** Autor

La producción del biogás se lleva a cabo a temperaturas próximas a 30 °C, por los resultados obtenidos nos muestra un promedio de  $T = 27,21$  °C que se encuentra en una óptima temperatura para la producción de biogás.

### 3.2.3. SÓLIDOS TOTALES

La remoción de sólidos totales en pre y post degradación del estiércol nos da una media de  $ST = 14,25$  % y  $ST = 17,97$  % respectivamente. Como se puede observar en la figura 11.

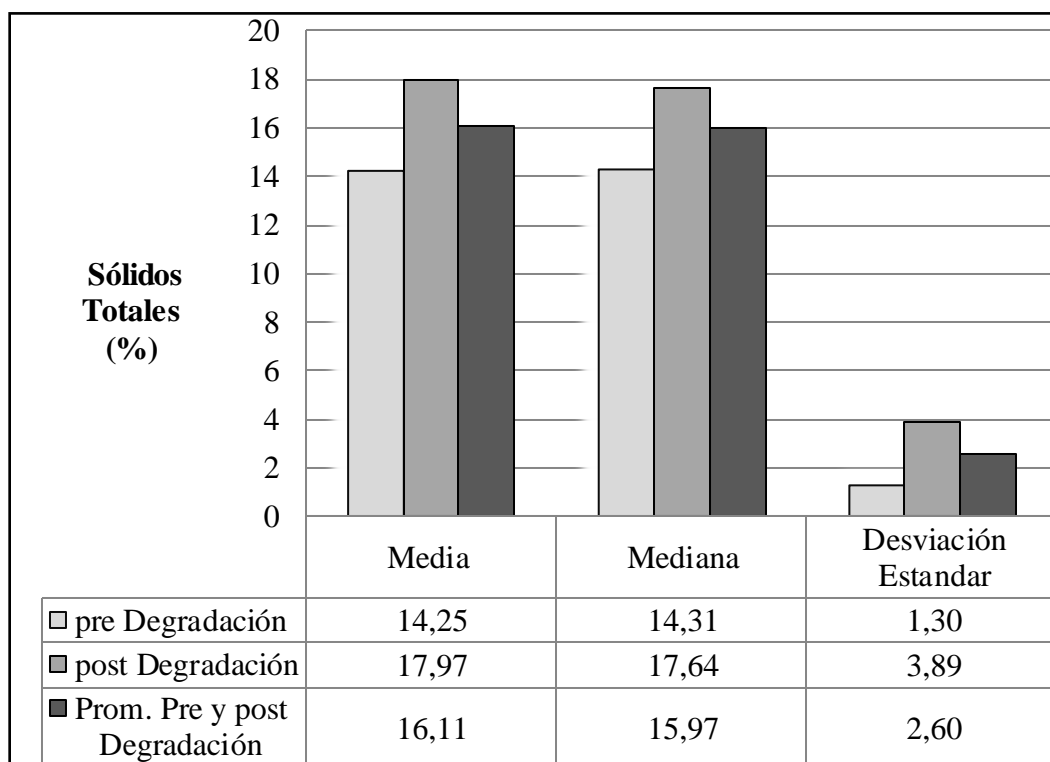
Los valores obtenidos de sólidos totales nos dan como resultado un promedio de  $ST = 16,11$  %, lo cual según bibliografías es un valor aceptable para el tratamiento de la materia orgánica en tratamientos biológicos y físicos para la producción de biogás según Larry J. Douglas (1979).

Los resultados de laboratorio de los sólidos totales se encuentran en dilución 100, faltando multiplicar en el informe por dicho valor, explicado por el Técnico de laboratorio “LABSU”. (Anexo 6)

**TABLA XVII:** Determinación de Sólidos Totales pre y post Degradación

| <b>Experimentación</b>                        | <b>Estiércol pre Degradación ST (%)</b> | <b>Experimentación</b>     | <b>Estiércol post Degradación ST (%)</b> |
|---|---|----------------------------|--|
| Muestra 1                                     | 14,19                                   | Muestra 5                  | 16,87                                    |
| Muestra 2                                     | 14,42                                   | Muestra 6                  | 22,98                                    |
| Muestra 3                                     | 15,78                                   | Muestra 7                  | 18,41                                    |
| Muestra 4                                     | 12,60                                   | Muestra 8                  | 13,62                                    |
| <b>Media</b>                                  | <b>14,25</b>                            | <b>Media</b>               | <b>17,97</b>                             |
| <b>Mediana</b>                                | <b>14,31</b>                            | <b>Mediana</b>             | <b>17,64</b>                             |
| <b>Desviación Estándar</b>                    | <b>1,30</b>                             | <b>Desviación Estándar</b> | <b>3,89</b>                              |
| <b>Promedio pre y post Degradación ST (%)</b> |   |                            |  |
| <b>Media</b>                                  |   | 16,11                      |  |
| <b>Mediana</b>                                |   | 15,97                      |  |
| <b>Desviación Estándar</b>                    |   | 2,60                       |  |

**FUENTE:** Autor



**FIGURA 11:** Comparación Sólidos Totales de pre y post Degradación del Estiércol

**FUENTE:** Autor

### 3.2.4. SÓLIDOS VOLÁTILES

Los sólidos volátiles se llevaron a cabo de la cantidad de sólidos totales, obteniendo sus resultados en porcentaje de sólidos volátiles. Como se puede observar en la figura 12.

**Ecuación 6**

$$\% S.V = \frac{\% S.T * \% SV quemado a 520^{\circ}C}{100 \%}$$

**TABLA XVIII:** Sólidos Volátiles pre y post Degradación

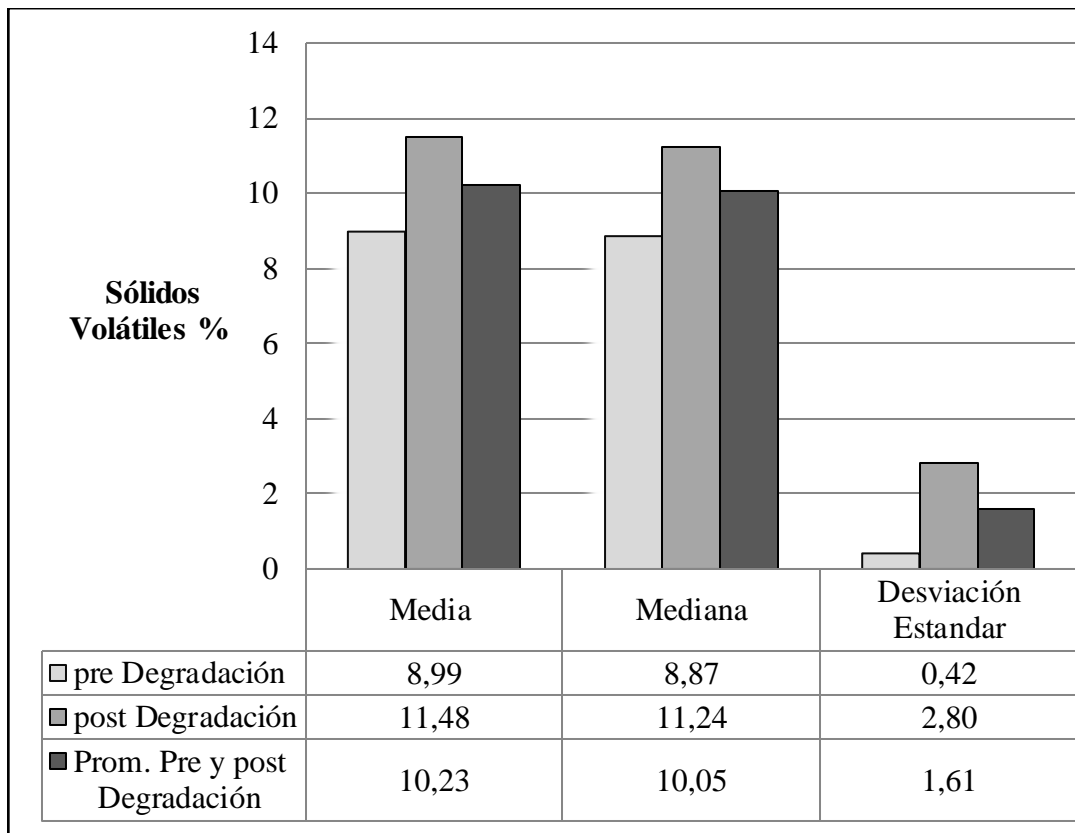
| <b>Experimentación</b>                        | <b>Estiércol pre Degradación SV (%)</b> | <b>Experimentación</b>     | <b>Estiércol post Degradación SV (%)</b> |
|---|---|----------------------------|--|
| Muestra 1                                     | 63,20                                   | Muestra 5                  | 60,27                                    |
| Muestra 2                                     | 60,76                                   | Muestra 6                  | 65,15                                    |
| Muestra 3                                     | 60,74                                   | Muestra 7                  | 66,84                                    |
| Muestra 4                                     | 68,50                                   | Muestra 8                  | 62,25                                    |
| <b>Media</b>                                  | <b>63,30</b>                            | <b>Media</b>               | <b>63,63</b>                             |
| <b>Mediana</b>                                | <b>61,98</b>                            | <b>Mediana</b>             | <b>63,70</b>                             |
| <b>Desviación Estándar</b>                    | <b>3,65</b>                             | <b>Desviación Estándar</b> | <b>2,93</b>                              |
| <b>Promedio pre y post Degradación SV (%)</b> |   |                            |  |
| <b>Media</b>                                  |   | 63,46                      |  |
| <b>Mediana</b>                                |   | 62,84                      |  |
| <b>Desviación Estándar</b>                    |   | 3,29                       |  |

FUENTE: Autor

**TABLA XIX:** Determinación de Sólidos Volátiles pre y post Degradación

| <b>Experimentación</b>                 | <b>Estiércol pre Degradación SV (%)</b> | <b>Experimentación</b>     | <b>Estiércol post Degradación SV (%)</b> |
|--|---|----------------------------|--|
| Muestra 1                              | 8,97                                    | Muestra 5                  | 10,17                                    |
| Muestra 2                              | 8,76                                    | Muestra 6                  | 14,97                                    |
| Muestra 3                              | 9,58                                    | Muestra 7                  | 12,31                                    |
| Muestra 4                              | 8,63                                    | Muestra 8                  | 8,48                                     |
| <b>Media</b>                           | <b>8,99</b>                             | <b>Media</b>               | <b>11,48</b>                             |
| <b>Mediana</b>                         | <b>8,87</b>                             | <b>Mediana</b>             | <b>11,24</b>                             |
| <b>Desviación Estándar</b>             | <b>0,42</b>                             | <b>Desviación Estándar</b> | <b>2,80</b>                              |
| <b>Promedio pre y post Degradación</b> |   |                            |  |
| <b>Media</b>                           |   | 10,23                      |  |
| <b>Mediana</b>                         |   | 10,05                      |  |
| <b>Desviación Estándar</b>             |   | 1,61                       |  |

FUENTE: Autor



**FIGURA 12:** Comparación Sólidos Volátiles de pre y post Degradación del Estiércol

**FUENTE:** Autor

Los resultados obtenidos de sólidos volátiles nos da como promedio SV = 63,46 %, lo cual es un valor aceptable según Karim et en el (2005) ya que para una buena remoción los sólidos volátiles deben encontrarse en un rango de 50 al 63 % .

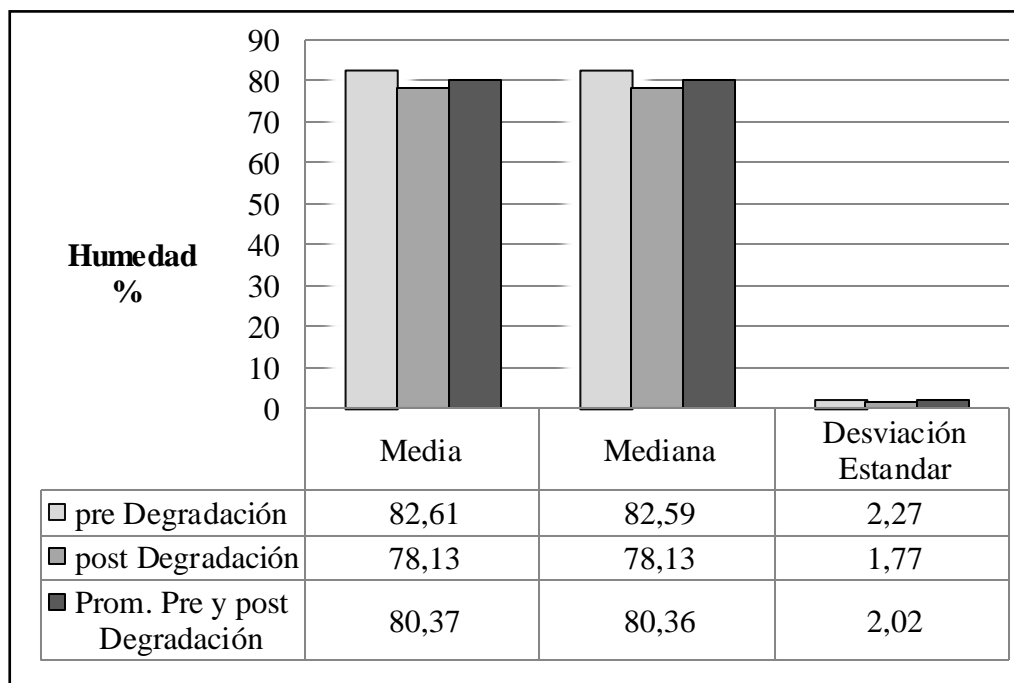
### 3.2.5. HUMEDAD

Este parámetro se lo realizo con la finalidad de saber la cantidad de agua que posee el estiércol, no interviene en el proceso anaerobio pero si nos ayuda para la dilución de la carga diaria del estiércol en el digester. Como se puede observar en la figura 13.

**TABLA XX:** Determinación de Humedad pre y post Degradación

| Experimentación                                    | Estiércol pre Degradación Humedad (%) | Experimentación            | Estiércol post Degradación Humedad (%) |
|--|---------------------------------------|----------------------------|--|
| Muestra 1  | 80,09                                 | Muestra 5                  | 78,56                                  |
| Muestra 2  | 81,43                                 | Muestra 6                  | 75,99                                  |
| Muestra 3  | 83,74                                 | Muestra 7                  | 80,25                                  |
| Muestra 4  | 85,16                                 | Muestra 8                  | 77,70                                  |
| <b>Media</b>                                       | <b>82,61</b>                          | <b>Media</b>               | <b>78,13</b>                           |
| <b>Mediana</b>                                     | <b>82,59</b>                          | <b>Mediana</b>             | <b>78,13</b>                           |
| <b>Desviación Estándar</b>                         | <b>2,27</b>                           | <b>Desviación Estándar</b> | <b>1,77</b>                            |
| <b>Promedio pre y post Degradación Humedad (%)</b> |                                       |                            |  |
| <b>Media</b>                                       |                                       | 80,37                      |  |
| <b>Mediana</b>                                     |                                       | 80,36                      |  |
| <b>Desviación Estándar</b>                         |                                       | 2,02                       |  |

FUENTE: Autor



**FIGURA 13:** Comparación de Humedad de pre y post Degradación del Estiércol

FUENTE: Autor

Obteniendo así en los resultados de laboratorio en pre Degradación H = 82,61% y post Degradación H = 78,13%, con un promedio entre pre y post Degradación de H = 80,37 %, esto representa el agua contenida por Kg de materia seca.

### 3.2.6. CENIZA

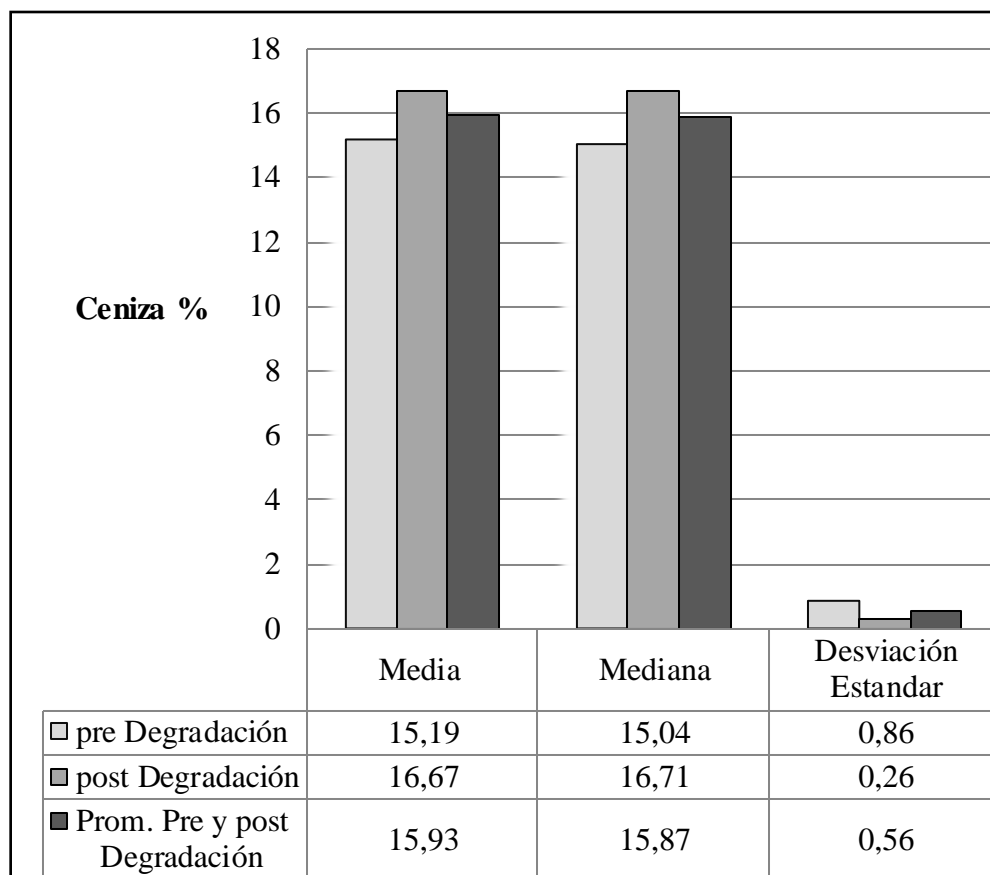
Los análisis de ceniza de pre y post Degradación del Estiércol se los realizó obteniéndose como resultado un promedio entre los dos de ceniza = 15,93 %. Como se puede observar en la figura 14.

Las cenizas es un indicativo de la materia sólida que no se combustiona por cada kilogramo de material degradable, es bueno saber la cantidad de ceniza que se genera ya que está se puede utilizar.

**TABLA XXI:** Determinación de Ceniza pre y post Degradación

| <b>Experimentación</b>                            | <b>Estiércol pre Degradación Ceniza (%)</b> | <b>Experimentación</b>     | <b>Estiércol post Degradación Ceniza (%)</b> |
|---|---|----------------------------|--|
| Muestra 1   | 15,44                                       | Muestra 5                  | 16,95  |
| Muestra 2   | 14,64                                       | Muestra 6                  | 16,33  |
| Muestra 3   | 16,28                                       | Muestra 7                  | 16,63  |
| Muestra 4   | 14,38                                       | Muestra 8                  | 16,78  |
| <b>Media</b>                                      | <b>15,19</b>                                | <b>Media</b>               | <b>16,67</b>                                 |
| <b>Mediana</b>                                    | <b>15,04</b>                                | <b>Mediana</b>             | <b>16,71</b>                                 |
| <b>Desviación Estándar</b>                        | <b>0,86</b>                                 | <b>Desviación Estándar</b> | <b>0,26</b>                                  |
| <b>Promedio pre y post Degradación Ceniza (%)</b> |   |                            |  |
| <b>Media</b>                                      |   | 15,93                      |  |
| <b>Mediana</b>                                    |   | 15,87                      |  |
| <b>Desviación Estándar</b>                        |   | 0,56                       |  |

FUENTE: Autor



**FIGURA 14:** Comparación de Ceniza de pre y post Degradación del Estiércol

FUENTE: Autor

### 3.2.7. DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)

Los resultados de análisis de la demanda química de oxígeno (DQO) obtenidos de pre y post degradación del estiércol presentan una media que son  $DQO = 106,94 \text{ g/L}$  y  $DQO = 81,40 \text{ g/L}$  respectivamente, lo cual nos indica una idea del valor de la cantidad de la materia orgánica biodegradable o no contenida en el estiércol. Como se puede observar en la figura 15.

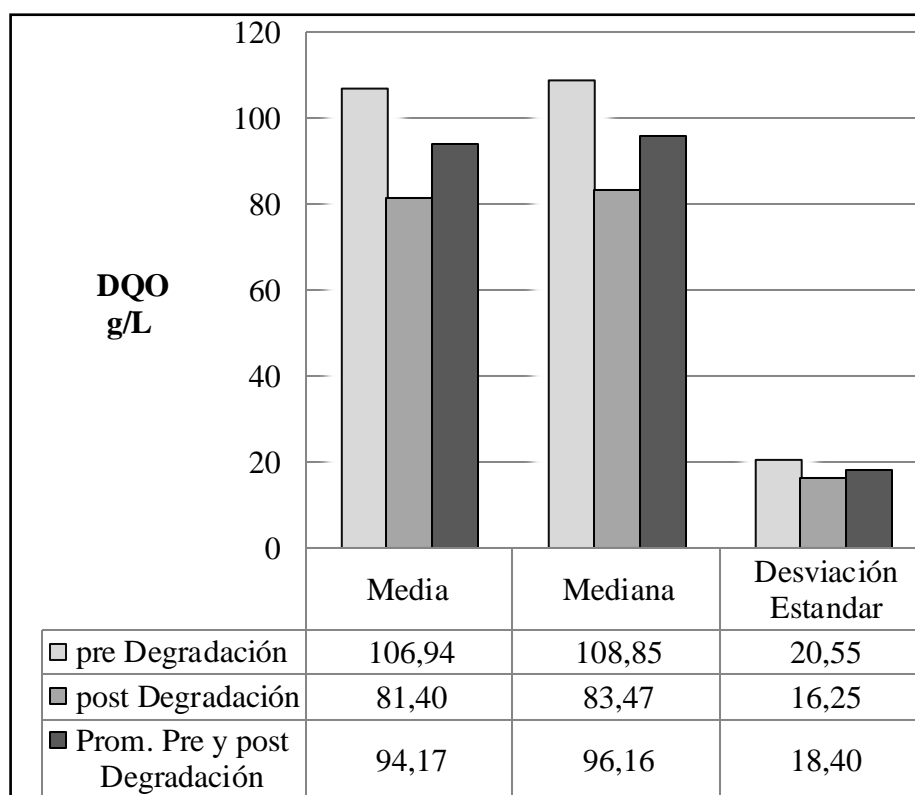
Presentando un promedio entre pre y post degradación de  $DQO = 94,17 \text{ g/L}$ , lo cual indica que existe una carga orgánica alta de materia orgánica contenida en el estiércol.



**TABLA XXII:** Determinación de DQO pre y post Degradación

| Experimentación                                  | Estiércol pre Degradación DQO (g/L) | Experimentación            | Estiércol post Degradación DQO (g/L) |
|--|-------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------|
| Muestra 1  | 110,07                              | Muestra 5                  | 80,82                                |
| Muestra 2  | 130,02                              | Muestra 6                  | 98,84                                |
| Muestra 3  | 107,62                              | Muestra 7                  | 86,12                                |
| Muestra 4  | 80,04                               | Muestra 8                  | 59,83                                |
| <b>Media</b>                                     | <b>106,94</b>                       | <b>Media</b>               | <b>81,40</b>                         |
| <b>Mediana</b>                                   | <b>108,85</b>                       | <b>Mediana</b>             | <b>83,47</b>                         |
| <b>Desviación Estándar</b>                       | <b>20,55</b>                        | <b>Desviación Estándar</b> | <b>16,25</b>                         |
| <b>Promedio pre y post Degradación DQO (g/L)</b> |                                     |                            |                                      |
| <b>Media</b>                                     |                                     | 94,17                      |                                      |
| <b>Mediana</b>                                   |                                     | 96,16                      |                                      |
| <b>Desviación Estándar</b>                       |                                     | 18,40                      |                                      |

FUENTE: Autor



**FIGURA 15:** Comparación de DQO pre y post Degradación del Estiércol

FUENTE: Autor

### 3.2.8. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO<sub>5</sub>)

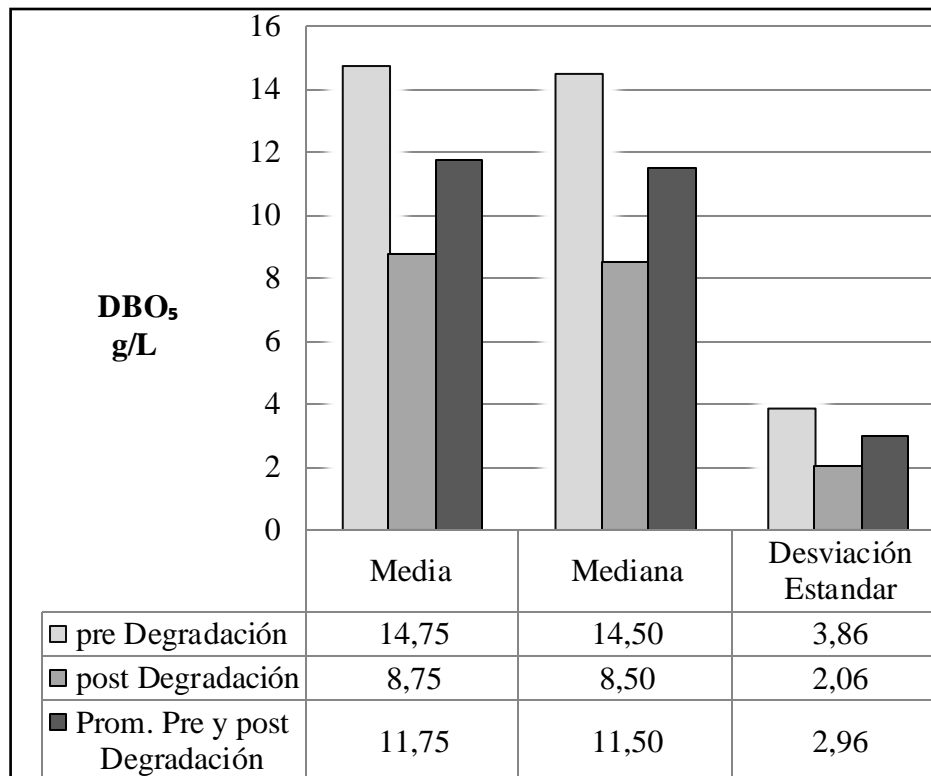
La Demanda Bioquímica de Oxígeno en la degradabilidad de la materia orgánica es muy importante, debido a que es el consumo de oxígeno en g/L que se encuentra en la materia orgánica biodegradable por los microorganismos.

La DBO<sub>5</sub> nos da conocer la cantidad de material biodegradable, según el tiempo y la temperatura que los residuos a degradar permanezcan en tratamiento, presentando valores aceptables para este, con un promedio de pre y post degradación de DBO<sub>5</sub> = 11,75 g/L. Como se puede observar en la figura 16.

**TABLA XXIII:** Determinación de DBO<sub>5</sub> pre y post Degradación

| <b>Experimentación</b>                                       | <b>Estiércol pre Degradación DBO<sub>5</sub> (g/L)</b> | <b>Experimentación</b>     | <b>Estiércol post Degradación DBO<sub>5</sub> (g/L)</b> |
|--|--|----------------------------|---|
| Muestra 1  | 17,00  | Muestra 5                  | 11,00   |
| Muestra 2  | 19,00  | Muestra 6                  | 10,00   |
| Muestra 3  | 12,00  | Muestra 7                  | 7,00  |
| Muestra 4  | 11,00  | Muestra 8                  | 7,00  |
| <b>Media</b>   | <b>14,75</b>   | <b>Media</b>               | <b>8,75</b>   |
| <b>Mediana</b>   | <b>14,50</b>   | <b>Mediana</b>             | <b>8,50</b>   |
| <b>Desviación Estándar</b>                                   | <b>3,86</b>  | <b>Desviación Estándar</b> | <b>2,06</b>   |
| <b>Promedio pre y post Degradación DBO<sub>5</sub> (g/L)</b> |  |                            |   |
| <b>Media</b>   |  | 11,75                      |   |
| <b>Mediana</b>   |  | 11,50                      |   |
| <b>Desviación Estándar</b>                                   |  | 2,96                       |   |

**FUENTE:** Autor



**FIGURA 16:** Comparación de DBO<sub>5</sub> pre y post Degradación del Estiércol

**FUENTE:** Autor

### 3.2.9. SULFUROS

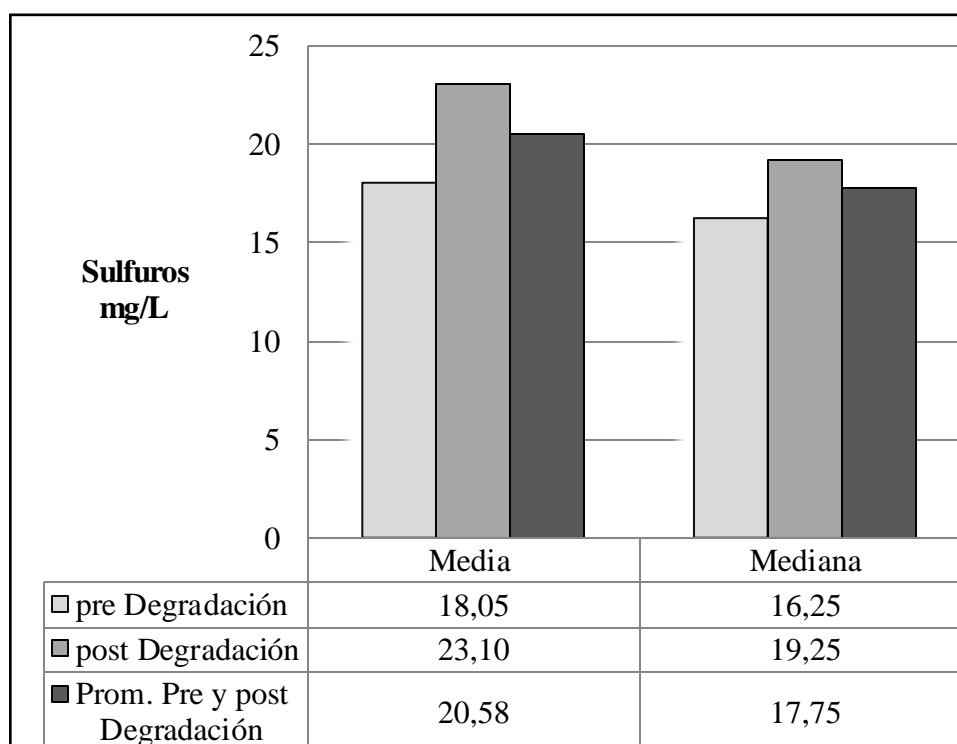
Los sulfuros son los causantes de la corrosión y son tóxicos presente como sulfuro de hidrogeno o gas sulfhídrico ya que pueden inhibir el crecimiento bacteriano, encontrándose en el estiércol en forma soluble y una parte de este escapa en el biogás que se obtiene en Biodigestores.

Teniendo como resultado de análisis una media en pre y post degradación del estiércol un SH<sub>2</sub> = 18,05 mg/L y SH<sub>2</sub> = 23,10 mg/L respectivamente, con un promedio de SH<sub>2</sub> = 20,58 mg/L. Como se puede observar en la figura 17.

**TABLA XXIV:** Determinación de Sulfuros pre y post Degradación

| Experimentación                               | Estiércol pre Degradación Sulfuros (mg/L) | Experimentación | Estiércol post Degradación Sulfuros (mg/L) |
|---|---|-----------------|--|
| Muestra 1                                     | 31,20                                     | Muestra 5       | 34,80                                      |
| Muestra 2                                     | 21,90                                     | Muestra 6       | 19,90                                      |
| Muestra 3                                     | 10,60                                     | Muestra 7       | 18,60                                      |
| Muestra 4                                     | 8,50                                      | Muestra 8       | 19,10                                      |
| <b>Media</b>                                  | <b>18,05</b>                              | <b>Media</b>    | <b>23,10</b>                               |
| <b>Mediana</b>                                | <b>16,25</b>                              | <b>Mediana</b>  | <b>19,25</b>                               |
| <b>Promedio pre y post Degradación (mg/L)</b> |   |                 |  |
| <b>Media</b>                                  |   | 20,58           |  |
| <b>Mediana</b>                                |   | 17,75           |  |

FUENTE: Autor



**FIGURA 17:** Comparación de Sulfuros pre y post Degradación del Estiércol

FUENTE: Autor

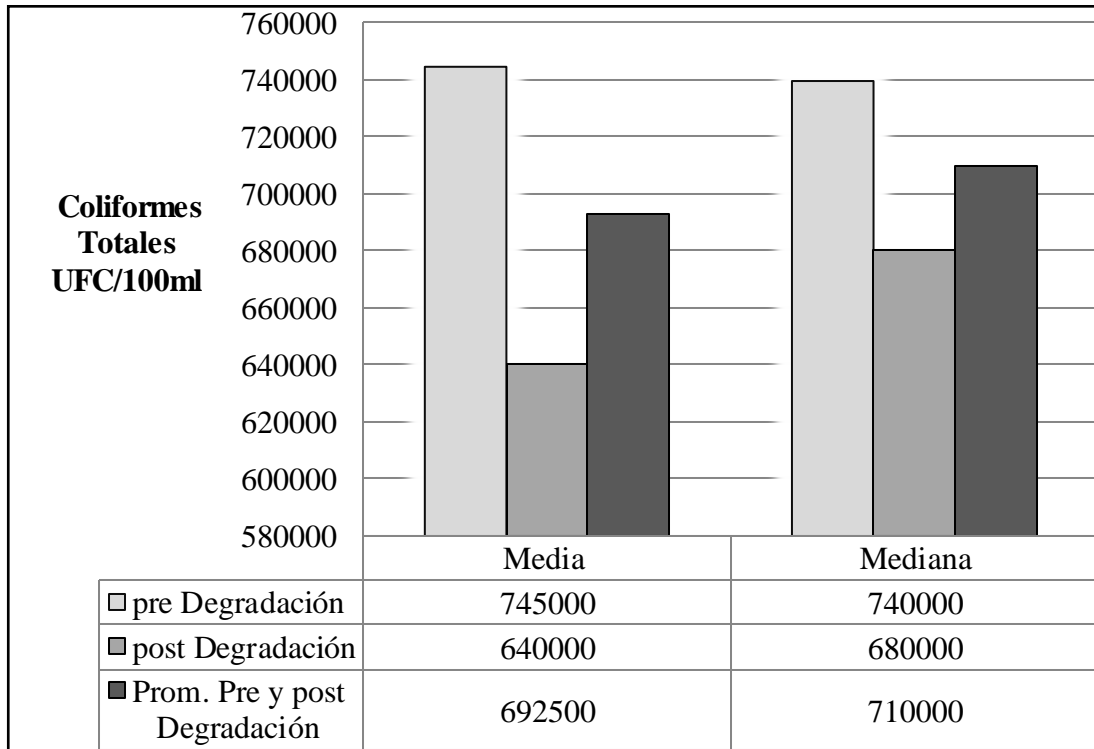
### 3.2.10. COLIFORMES TOTALES Y FECALES

Las Coliformes totales y fecales son un grupo de bacterias que poseen características bioquímicas en común y las cuales se encuentran en el agua como indicadores de contaminación, causantes de muchas enfermedades especialmente las del grupo *Escherichia coli* provenientes de material fecal. Como se puede observar en la figura 18 y 19.

**TABLA XXV:** Determinación de Coliformes Totales pre y post Degradación

| <b>Experimentación</b>                              | <b>Estiércol pre Degradación Coliformes Totales (UFC/100 ml)</b> | <b>Experimentación</b> | <b>Estiércol post Degradación Coliformes Totales (UFC/100 ml)</b> |
|---|--|------------------------|---|
| Muestra 1   | 730000   | Muestra 5              | 640000  |
| Muestra 2   | 750000   | Muestra 6              | 480000  |
| Muestra 3   | 780000   | Muestra 7              | 720000  |
| Muestra 4   | 720000   | Muestra 8              | 720000  |
| <b>Media</b>  | <b>745000</b>  | <b>Media</b>           | <b>640000</b>   |
| <b>Mediana</b>                                      | <b>740000</b>  | <b>Mediana</b>         | <b>680000</b>   |
| <b>Promedio pre y post Degradación (UFC/100 ml)</b> |  |                        |   |
| <b>Media</b>  |  | 692500                 |   |
| <b>Mediana</b>                                      |  | 710000                 |   |

**FUENTE:** Autor



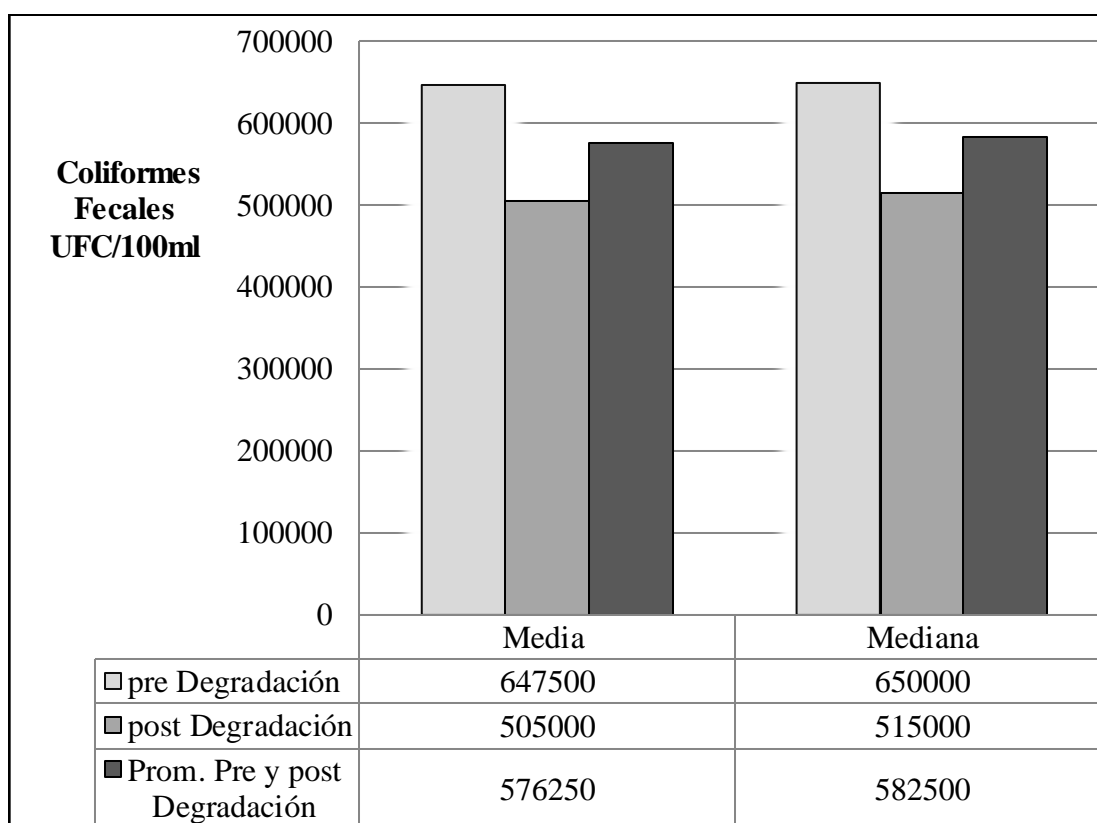
**FIGURA 18:** Comparación de Coliformes Totales pre y post Degradación del Estiércol

FUENTE: Autor

**TABLA XXVI:** Determinación de Coliformes Fecales pre y post Degradación

| Experimentación  | Estiércol pre Degradación Coliformes Fecales (UFC/100 ml) | Experimentación | Estiércol post Degradación Coliformes Fecales (UFC/100 ml) |
|--|---|-----------------|--|
| Muestra 1  | 690000  | Muestra 5       | 430000   |
| Muestra 2  | 600000  | Muestra 6       | 390000   |
| Muestra 3  | 620000  | Muestra 7       | 600000   |
| Muestra 4  | 680000  | Muestra 8       | 600000   |
| <b>Media</b>   | <b>647500</b>   | <b>Media</b>    | <b>505000</b>  |
| <b>Mediana</b>   | <b>650000</b>   | <b>Mediana</b>  | <b>515000</b>  |
| <b>Promedio pre y post Degradación Coliformes Fecales (UFC/100 ml)</b> |   |                 |  |
| <b>Media</b>   |   | 576250          |  |
| <b>Mediana</b>   |   | 582500          |  |

FUENTE: Autor



**FIGURA 19:** Comparación de Coliformes Fecales pre y post Degradación del Estiércol

**FUENTE:** Autor

Los resultados obtenidos nos da como resultado en promedio de pre y post degradación del estiércol de Coliformes Totales = 692500 UFC/100ml y Coliformes Fecales = 576250 UFC/100ml respectivamente, indicando una carga microbiana favorable para la digestión.

### 3.3. MATRICES PARA LA SELECCIÓN DEL TIPO DE BIODIGESTOR

**TABLA XXVII:** Matriz de Preselección para el Diseño de Domo Flotante o “HINDÚ”

| <b>BIODIGESTOR DE DOMO FLOTANTE O “HINDÚ”</b> |     |                           |              |     |           |
|---|-----|---------------------------|--------------|-----|-----------|
| #   | A   | B                         | C            | D   | E         |
|   | %   | ASPECTO EVALUADO          | CALIFICACIÓN | C/5 | D*A       |
| 1   | 5   | Tipo de Materia Prima     | 5            | 1   | 5         |
| 2   | 15  | Vida Útil                 | 3            | 0,6 | 9         |
| 3   | 5   | Requerimiento de Área     | 5            | 1   | 5         |
| 4   | 20  | Costos                    | 3            | 0,6 | 12        |
| 5   | 15  | Construcción              | 5            | 1   | 15        |
| 6   | 15  | Operación y Mantenimiento | 5            | 1   | 15        |
| 7   | 25  | Rendimiento               | 3            | 0,6 | 15        |
| <b>TOTAL</b>                                  | 100 |                           |              |     | <b>76</b> |

**FUENTE:** Autor

Esta tipo Biodigestor tiene aspectos a favor como es el tipo de materia prima, el área para su construcción y su mantenimiento pero presenta la desventaja que su tiempo de vida útil no es muy bueno debido a que su campana flotante está hecha de metal y esta se oxida y se corroe por lo que presenta un 76 % de aceptación.

**TABLA XXVIII:** Matriz de Preselección para el Diseño de Domo Fijo o “CHINO”

| <b>BIODIGESTOR DE DOMO FIJO O “CHINO”</b> |     |                           |              |     |           |
|---|-----|---------------------------|--------------|-----|-----------|
| #   | A   | B                         | C            | D   | E         |
|   | %   | ASPECTO EVALUADO          | CALIFICACIÓN | C/5 | D*A       |
| 1   | 5   | Tipo de Materia Prima     | 5            | 1   | 5         |
| 2   | 15  | Vida Útil                 | 5            | 1   | 15        |
| 3   | 5   | Requerimiento de Área     | 5            | 1   | 5         |
| 4   | 20  | Costos                    | 3            | 0,6 | 12        |
| 5   | 15  | Construcción              | 3            | 0,6 | 9         |
| 6   | 15  | Operación y Mantenimiento | 3            | 0,6 | 9         |
| 7   | 25  | Rendimiento               | 5            | 1   | 25        |
| <b>TOTAL</b>                              | 100 |                           |              |     | <b>80</b> |

**FUENTE:** Autor



El Biodigestor de domo fijo o “Chino” con una aceptación del 80 %, gracias a sus aspectos a favor como es el tipo de materia prima, la vida útil, su operación y mantenimiento, y por su rendimiento que a través de los años se ha comprobado su alta eficiencia, razones que lo hacen que sea el elegido para el diseño de la finca los Laureles.

**TABLA XXIX:** Matriz de Preselección para el Diseño de Estructura Flexible “POLIETILENO”

| <b>BIODIGESTOR DE ESTRUCTURA FLEXIBLE O “POLIETILENO”</b> |     |                           |              |     |           |
|---|-----|---------------------------|--------------|-----|-----------|
| #   | A   | B                         | C            | D   | E         |
|   | %   | ASPECTO EVALUADO          | CALIFICACIÓN | C/5 | D*A       |
| 1   | 5   | Tipo de Materia Prima     | 5            | 1   | 5         |
| 2   | 15  | Vida Útil                 | 1            | 0,2 | 3         |
| 3   | 5   | Requerimiento de Área     | 5            | 1   | 5         |
| 4   | 20  | Costos                    | 5            | 1   | 20        |
| 5   | 15  | Construcción              | 5            | 1   | 15        |
| 6   | 15  | Operación y Mantenimiento | 3            | 0,6 | 9         |
| 7   | 25  | Rendimiento               | 3            | 0,6 | 15        |
| <b>TOTAL</b>  | 100 |                           |              |     | <b>72</b> |

**FUENTE:** Autor

En este tipo de biodigestor se tiene un 72 % de aceptación por lo que es menos aceptable para el diseño, debido principalmente a su tiempo de vida útil ya que sus materiales de construcción están hechos de plástico.

### **3.4. CÁLCULOS PARA EL DIMENSIONAMIENTO DEL BIODIGESTOR**

Las fórmulas para el dimensionamiento del biodigestor han sido tomadas de la tesis de grado de Edwin Lara y María Hidalgo, 2011. <sup>(25)</sup>

<sup>25</sup> <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1652/1/236T0056.pdf>

### 3.4.1. CANTIDAD DE ENERGÍA QUE NECESITA MENSUALMENTE LA FINCA LOS LAURELES.

Los cálculos para el diseño del biodigestor para la producción de biogás se puede partir de la siguiente manera.

- ✓ De la cantidad exacta de estiércol que se produce en el lugar para procesar y a partir de esto calcular la energía, el biogás y el volumen adecuado del biodigestor.
- ✓ De la cantidad de energía y biogás que se necesita y a partir de estos valores calcular la cantidad de estiércol y el respectivo biodigestor.

Por cualquier de las dos maneras descritas, se puede realizar el dimensionamiento del biodigestor. El cual se realizara a partir de los datos obtenidos en la tabla XIV del capítulo II.

#### La finca los Laureles consume mensualmente.

Cocina: 1 tanque de GLP mensual

$$\text{Kg de GLP} = 1 \text{ tanque de GLP} \times \frac{15 \text{ Kg}}{1 \text{ tanque de GLP}} = 15\text{Kg mensual}$$

Alumbrado avícola y casa: 2 tanques de GLP mensual, ya que necesita 75 kWh/mes.

$$75 \frac{\text{kWh}}{\text{mes}} \times \frac{1 \text{ m}^3 \text{ de biogás}}{1,2 \text{ kWh}} = 63 \frac{\text{m}^3 \text{ de biogás}}{\text{mes}}$$

$$63 \frac{\text{m}^3 \text{ de biogás}}{\text{mes}} \times \frac{0,45 \text{ Kg de GLP}}{1 \text{ m}^3 \text{ de biogás}} = 28,4\text{Kg mensual}$$

$$\text{Kg de GLP} = 2 \text{ tanques de GLP} \times \frac{15 \text{ Kg}}{1 \text{ tanque de GLP}} = 30\text{Kg mensual}$$

La cantidad necesaria que consume la finca los Laureles es de 45 Kg de GLP mensual.

### **Cálculo de la cantidad de GLP en m<sup>3</sup> de biogás**

Utilizando para la cocina 1 tanque de GLP.

$$\frac{15 \text{ Kg GLP}}{\text{mensual}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{0.45 \text{ Kg de GLP}} = 33.33 \frac{\text{m}^3 \text{ de biogás}}{\text{mes}}$$

Utilizando para la electricidad 2 tanques de GLP

$$\frac{30 \text{ Kg GLP}}{\text{mensual}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{0.45 \text{ Kg de GLP}} = 66.67 \frac{\text{m}^3 \text{ de biogás}}{\text{mes}}$$

Utilizando en total 100 m<sup>3</sup> de biogás al mes

$$\frac{45 \text{ Kg GLP}}{\text{mensual}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{0.45 \text{ Kg de GLP}} = 100 \frac{\text{m}^3 \text{ de biogás}}{\text{mes}}$$

Los 100 m<sup>3</sup> de biogás/mensual es la cantidad total que la finca necesita para cubrir el 100 % del consumo mensual de GLP.

Siendo en energía.

$$\frac{45 \text{ Kg GLP}}{\text{mensual}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{0.45 \text{ Kg de GLP}} \times \frac{1.2 \text{ kWh}}{1 \text{ m}^3} = 120 \frac{\text{kWh}}{\text{mes}}$$

### **Cálculo para la cantidad de m<sup>3</sup> de biogás/diario**

$$100 \frac{\text{m}^3 \text{ de biogás}}{\text{mes}} \times \frac{12 \text{ meses}}{1 \text{ año}} \times \frac{1 \text{ año}}{365 \text{ días}} = 3.29 \frac{\text{m}^3 \text{ de biogás}}{\text{diario}}$$

La finca consume diariamente 3,29 m<sup>3</sup> de biogás/diarios.

### **3.4.2. CANTIDAD DE BIOGÁS DIARIO QUE PRODUCE LA FINCA**

Para determinar la cantidad de biogás que se produce en la finca los Laureles se usa la tabla de datos básicos de diseño de biodigestores de biogás a partir de estiércol de ganado vacuno.

Para calcular la cantidad de energía que producirá la finca los Laureles se usó la tabla XXX debido a que los valores obtenidos a nivel de laboratorio reportan valores similares de 0.16 Kg de sólidos totales por 1 Kg. de estiércol fresco, tomando en cuenta una temperatura de 25 °C para la producción de biogás, temperatura promedio en la zona.

**TABLA XXX:** Datos Básicos – Biogás de Ganado Vacuno

|                               |   |  |
|-------------------------------|---|--|
| 1 Kg de Estiércol Fresco (EF) | = | 0.20 Kg de Sólidos Totales (ST)                  |
| 1 Kg de Sólidos Totales (ST)  | = | 0.8 Kg de Sólidos Volátiles (SV)                 |
| 1 Kg de Sólidos Totales (ST)  | = | 0.30 m <sup>3</sup> de Biogás a (35°C y Pr. Atm) |
| 1 Kg de Sólidos Totales (ST)  | = | 0.25 m <sup>3</sup> de Biogás a (30°C y Pr. Atm) |
| 1 Kg de Sólidos Totales (ST)  | = | 0.20 m <sup>3</sup> de Biogás a (25°C y Pr. Atm) |
| 1 Kg de Sólidos Totales (ST)  | = | 0.16 m <sup>3</sup> de Biogás a (22°C y Pr. Atm) |
| 1 Kg de Sólidos Totales (ST)  | = | 0.10 m <sup>3</sup> de Biogás a (18°C y Pr. Atm) |
| 1 Kg de Sólidos Totales (ST)  | = | 0.08 m <sup>3</sup> de Biogás a (15°C y Pr. Atm) |

**FUENTE:** Larry J. Douglas (1979)

Para el cálculo se tomó el primer valor obtenido en laboratorio, mientras que el segundo de la tabla XXX.

|                               |   |  |
|-------------------------------|---|--|
| 1 Kg de Estiércol Fresco (EF) | = | 0.16 Kg de Sólidos Totales (ST)                  |
| 1 Kg de Sólidos Totales (ST)  | = | 0.20 m <sup>3</sup> de Biogás a (25°C y Pr. Atm) |

Utilizándose para calcular el biogás que se producirá en la finca, la cantidad de materia prima producida a diario, contándose con una cantidad de estiércol (CE)= 118.17 Kg de EF/día, con una Desviación Estándar de 3.06 Kg teniendo los siguientes valores.

$$115.11 \frac{\text{Kg de EF}}{\text{día}} \times \frac{0.16 \text{ Kg de ST}}{1 \text{ Kg de EF}} \times \frac{0.20 \text{ m}^3 \text{ de Biogás}}{1 \text{ Kg de ST}} = 3.68 \frac{\text{m}^3 \text{ de biogás}}{\text{diario}}$$

$$121.23 \frac{\text{Kg de EF}}{\text{día}} \times \frac{0.16 \text{ Kg de ST}}{1 \text{ Kg de EF}} \times \frac{0.20 \text{ m}^3 \text{ de Biogás}}{1 \text{ Kg de ST}} = 3.87 \frac{\text{m}^3 \text{ de biogás}}{\text{diario}}$$

$$118.17 \frac{\text{Kg de EF}}{\text{día}} \times \frac{0.16 \text{ Kg de ST}}{1 \text{ Kg de EF}} \times \frac{0.20 \text{ m}^3 \text{ de Biogás}}{1 \text{ Kg de ST}} = 3.78 \frac{\text{m}^3 \text{ de biogás}}{\text{diario}}$$

$$3.78 \frac{\text{m}^3 \text{ de biogás}}{\text{diario}} \times \frac{365 \text{ días}}{1 \text{ año}} \times \frac{1 \text{ año}}{12 \text{ meses}} = 115 \frac{\text{m}^3 \text{ de biogás}}{\text{mes}}$$

$$115 \frac{\text{m}^3 \text{ de biogás}}{\text{mes}} \times \frac{1.2 \text{ kWh}}{1 \text{ m}^3 \text{ de biogás}} = 138 \frac{\text{kWh}}{\text{mes}}$$

La cantidad de biogás que producirá la finca con el diseño del biodigestor es de 3.78 m<sup>3</sup> de biogás al día, con una Desviación Estándar de 3.06 Kg pudiendo ser 3.68 m<sup>3</sup> la cantidad mínima y 3.87 m<sup>3</sup> la cantidad máxima de biogás diario, satisfaciendo las necesidades de la finca lo cual es de 3.29 m<sup>3</sup> de biogás al día.

Produciendo al mes 115 m<sup>3</sup> de biogás o 138 kWh, de lo cual la finca solo necesita 100 m<sup>3</sup> de biogás o 120 kWh., satisfaciendo en su totalidad el consumo de biogás.

### **Cálculo de la carga diaria para el biodigestor**

Ya conocida la cantidad de estiércol que se produce a diario en la finca y la cantidad de biogás que producirá se utilizara la dilución recomendada de 1:1, (estiércol más agua) y asumiendo que 1 Kg de EF = 1 Lt de EF, teniendo como mezcla diaria lo siguiente.

#### **Ecuación 7**

$$\text{Carga diaria (CD)} = \text{CE} + \text{Agua}$$

$$(\text{CD}) = 118.17 \frac{\text{Kg de EF}}{\text{día}} \times \frac{1 \text{ L de agua}}{1 \text{ Kg}} + 118.17 \frac{\text{L de agua}}{\text{día}} = 236.34 \frac{\text{L de mezcla}}{\text{día}}$$

$$(\text{CD}) = 236.34 \frac{\text{L de mezcla}}{\text{día}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ Lt}}$$

$$(\text{CD}) = 0.23634 \frac{\text{m}^3 \text{ de mezcla}}{\text{día}}$$

### **3.4.3. CAJA DE ENTRADA DEL BIODIGESTOR**

La caja de entrada del biodigestor de acuerdo al biodigestor seleccionado como es el domo fijo o “Chino” su figura geométrica será de forma cuadrada debido a que la mezcla de estiércol más agua es adicionada a diario por lo que su volumen es pequeño, por tanto se dimensionará en base a la carga diaria (CD).

**LLCE** = Longitud de los Lados de la Caja de Entrada

**Ecuación 8**

$$\mathbf{LLCE} = \sqrt[3]{0.23634 \frac{\text{m}^3 \text{ de mezcla}}{\text{día}}}$$

$$\mathbf{LLCE} = 0.618 \text{ m}$$

Cada lado de la caja de entrada debe tener 0.618 m de longitud: longitud, ancho y altura, pero por las condiciones de mezclado diario en el biodigestor, se dimensionará con las siguientes medidas: sus longitud de 1 m, su ancho de 1 m y su altura de 0.80 m. dando como resultado una caja de entrada de 0.80 m<sup>3</sup> restando de longitud 0.30 m, ancho 0.30 m y altura 0.20 m de hormigón ciclópeo, quedando en su interior un volumen de 0.294 m<sup>3</sup> con la comodidad suficiente para poder introducir la carga diaria de 0.23634 m<sup>3</sup> de mezcla/día en el biodigestor. (Anexo 8)

**C<sub>en</sub>** = Caja de Entrada

**C<sub>ei</sub>** = Caja de Entrada Interior

**L** = Longitud

**La** = Ancho de la caja

**H<sub>c</sub>** = Altura de la caja

**Ecuación 9**

$$\mathbf{C_{en}} = L \times La \times H_c$$

$$\mathbf{C_{en}} = 1 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 0.80 \text{ m}$$

$$\mathbf{C_{en}} = 0.80 \text{ m}^3$$

$$\mathbf{C_{ei}} = (1 - 0.30) \text{ m} \times (1 - 0.30) \text{ m} \times (0.80 - 0.20) \text{ m}$$

$$\mathbf{C_{ei}} = 0.70 \text{ m} \times 0.70 \text{ m} \times 0.60 \text{ m}$$

$$C_{ei} = 0.294 \text{ m}^3$$

#### 3.4.4. VOLUMEN DEL TANQUE DEL BIODIGESTOR

Para los cálculos del volumen del tanque del biodigestor se utilizará la carga diaria de estiércol y un tiempo de retención de 30 días, tiempo óptimo para la producción de biogás a 25 °C, como se indica en la tabla X y figura 2.

**Volumen total del biodigestor será:**

**Donde**

**V<sub>tb</sub>** = Volumen del tanque del biodigestor

**CD** = Carga diaria

**TR** = Tiempo de retención

**Ecuación 10**

$$V_{tb} = CD \times TR$$

$$V_{tb} = 0.23634 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \times 30 \text{ días}$$

$$V_{tb} = 7.10 \text{ m}^3$$

EL volumen del tanque biodigestor tendrá 7.10 m<sup>3</sup>

#### 3.4.5. DIÁMETRO DEL BIODIGESTOR

Conocido el volumen del biodigestor y tomando en cuenta que es un biodigestor de forma cilíndrica vertical de diámetro ( $\emptyset$ ) igual a su profundidad vertical (H) tenemos.

$$\emptyset = H$$

**Dónde:**

$V_{tb}$  = Volumen del tanque del biodigestor

A = Área

H = altura

$\emptyset$  = Diámetro interior

**Ecuación 11**

$$V_{tb} = A \times H$$

$$V_{tb} = \frac{\pi \emptyset^2}{4} \times H$$

**Despejando  $\emptyset$  y reemplazando H por  $\emptyset$  tenemos.**

**Ecuación 12**

$$\emptyset = \sqrt[3]{\frac{V_{tb} \times 4}{\pi}}$$

$$\emptyset = \sqrt[3]{\frac{7.10 \text{ m}^3 \times 4}{3.1416}}$$

$$\emptyset = \sqrt[3]{9.039}$$

$$\emptyset = 2.10 \text{ m}$$

**FUENTE:** Fórmula tomada de la tesis de Edw in Lara y María Hidalgo, 2011

El diámetro del biodigestor en la parte interior será de 2.10 m aumentando 0.15 m de espesor de hormigón ciclópeo del cual va a estar conformado el biodigestor quedara de 2.40 m de diámetro exterior.



**Donde**

$\emptyset_e$  = Diámetro exterior

e = Espesor del Hormigón

**Ecuación 13**

$$\emptyset_e = \emptyset + 2e$$

$$\emptyset_e = 2.1 \text{ m} + (2 \times 0.15) \text{ m}$$

$$\emptyset_e = 2.40 \text{ m}$$

### **3.4.6. RADIO DEL BIODIGESTOR**

**Donde**

r = Radio interior del biodigestor

**Ecuación 14**

$$r = \frac{\emptyset}{2}$$

$$r = \frac{2.10 \text{ m}}{2}$$

$$r = 1.05 \text{ m}$$

### **3.4.7. ALTURA DEL TANQUE BIODIGESTOR**

La relación del diámetro con la altura no es necesariamente 1 a 1, pero como se tomó que el diámetro ( $\emptyset$ ) igual a su profundidad vertical (H), procedemos a realizar el cálculo de la altura vertical del biodigestor de volumen  $7.10 \text{ m}^3$  y diámetro de 2.083 m.

**Ecuación 15**

$$V_{tb} = \frac{\pi \emptyset^2}{4} \times H$$

**Despejando H tenemos**

**Ecuación 16**

$$H = \frac{V_{tb} \times 4}{\pi \emptyset^2}$$

$$H = \frac{7.10 \text{ m}^3 \times 4}{3.1416 \times (2.08 \text{ m})^2}$$

$$H = 2.10 \text{ m}$$

**Fuente:** Fórmula tomada de la tesis de Edw in Lara y María Hidalgo, 2011

### **3.4.8. CURVATURA DE LA CÚPULA SUPERIOR**

**Donde**

f<sub>1</sub> = Altura de la cúpula superior

**Ecuación 17**

$$f_1 = \frac{1}{5} \times \emptyset$$

$$f_1 = \frac{1}{5} \times 2.10 \text{ m}$$

$$f_1 = 0.42 \text{ m}$$

**Fuente:** Fórmula tomada de la tesis de Edw in Lara y María Hidalgo, 2011

La altura de la cúpula en la parte superior del biodigestor tendrá 0.42 m.

### 3.4.9. RADIO DE LA CURVATURA DE LA ESFERA SUPERIOR

$r_1$  = Radio de la curvatura de la esfera superior

**Ecuación 18**

$$r_1 = \frac{r^2 + f_1^2}{2f_1}$$

$$r_1 = \frac{(1.05 \text{ m})^2 + (0.42 \text{ m})^2}{2 \times 0.42 \text{ m}}$$

$$r_1 = 1.52 \text{ m}$$

**FUENTE:** Fórmula tomada de la tesis de Edw in Lara y María Hidalgo, 2011

### 3.4.10. VOLUMEN DE LA CÚPULA SUPERIOR

**Donde**

$V_{cs}$  = Volumen de la cúpula superior

$a = 3$  constante

**Ecuación 19**

$$V_{cs} = \pi(f_1)^2 \times \left( r_1 - \frac{f_1}{a} \right)$$

$$V_{cs} = 3.1416 \times (0.42 \text{ m})^2 \times \left( 1.52 \text{ m} - \frac{0.42 \text{ m}}{3} \right)$$

$$V_{cs} = 0.77 \text{ m}^3$$

**FUENTE:** Fórmula tomada de la tesis de Edw in Lara y María Hidalgo, 2011

### 3.4.11. CURVATURA DE LA CÚPULA INFERIOR

Donde

$f_2$  = Altura de la cúpula inferior

Ecuación 20

$$f_2 = \frac{1}{8} \times \emptyset$$

$$f_2 = \frac{1}{8} \times 2.10 \text{ m}$$

$$f_2 = 0.26 \text{ m}$$

FUENTE: Fórmula tomada de la tesis de Edw in Lara y María Hidalgo, 2011

### 3.4.12. RADIO DE LA CURVATURA DE LA ESFERA INFERIOR

$r_2$  = Radio de la curvatura de la esfera inferior

Ecuación 21

$$r_2 = \frac{r^2 + f_2^2}{2f_2}$$

$$r_2 = \frac{(1.05 \text{ m})^2 + (0.26 \text{ m})^2}{2 \times 0.26 \text{ m}}$$

$$r_2 = 2.25 \text{ m}$$

FUENTE: Fórmula tomada de la tesis de Edw in Lara y María Hidalgo, 2011

### 3.4.13. VOLUMEN DE LA CÚPULA INFERIOR

**Donde**

$V_{ci}$  = Volumen de la cúpula inferior

$a = 3$  constante

**Ecuación 22**

$$V_{ci} = \pi(f_2)^2 \times \left( r_2 - \frac{f_2}{a} \right)$$

$$V_{ci} = 3.1416 \times (0.26 \text{ m})^2 \times \left( 2.25 \text{ m} - \frac{0.26 \text{ m}}{3} \right)$$

$$V_{ci} = 0.46 \text{ m}^3$$

**FUENTE:** Fórmula tomada de la tesis de Edw in Lara y María Hidalgo, 2011

### 3.4.14. VOLUMEN DEL CILINDRO

**Donde**

$V_{c1}$  = Volumen del cilindro

**Ecuación 23**

$$V_{c1} = \pi r^2 H$$

$$V_{c1} = 3.1416 \times (1.05 \text{ m})^2 \times 2.10 \text{ m}$$

$$V_{c1} = 7.27 \text{ m}^3$$

**FUENTE:** Fórmula tomada de la tesis de Edw in Lara y María Hidalgo, 2011

### 3.4.15. ALTURA FINAL DEL BIODIGESTOR

**Donde**

$H_{fb}$  = Altura final del biodigestor

$H_b$  = altura del borde de la base

**Ecuación 24**

$$H_{fb} = H + H_b + f_1 + f_2$$

$$H_{fb} = 2.10 \text{ m} + 0.32 \text{ m} + 0.42 \text{ m} + 0.26 \text{ m}$$

$$H_{fb} = 3.10 \text{ m}$$

**FUENTE:** Fórmula tomada de la tesis de Edwin Lara y María Hidalgo, 2011

Dejando como base un borde de 0.32 m de altura, quedara de 3,10 m de altura el biodigestor.

### 3.4.16. VOLUMEN FINAL DEL BIODIGESTOR

**Donde**

$V_{fb}$  = Volumen final del biodigestor

$V_b$  = Volumen de biogás almacenado

**Ecuación 25**

$$V_{fb} = V_{cs} + V_{ci} + V_{c1}$$

$$V_{fb} = 0.77 \text{ m}^3 + 0.46 \text{ m}^3 + 7.27 \text{ m}^3$$

$$V_{fb} = 8.5 \text{ m}^3$$

$$V_b = V_{fb} - V_{tb}$$

$$V_b = 8.5 \text{ m}^3 - 7.10 \text{ m}^3$$

$$V_b = 1.4 \text{ m}^3$$

**FUENTE:** Fórmula tomada de la tesis de Edwin Lara y María Hidalgo, 2011

(Anexo 11)

### 3.4.17. CAJA DE SALIDA DEL BIODIGESTOR

La caja de salida del biodigestor de acuerdo al biodigestor seleccionado como es el domo fijo o “Chino” su figura geométrica será de forma cuadrada ya que se requiere extraer el fluido de salida cuya cantidad es parecida a la cantidad de entrada de mezcla diaria de estiércol más agua, por tal razón su dimensiones serán: el lado de 1 m, su ancho de 1 m y su altura de 0.9 m. dando como resultado una caja de salida de  $0.9 \text{ m}^3$ .

De igual manera restando al lado 0.30 m, ancho 0.30 m y altura 0.20 m de hormigón ciclópeo, quedando en su interior un volumen de  $0.343 \text{ m}^3$  con la comodidad suficiente para poder extraer el fluido de salida. (Anexo 9.)

**Donde**

$C_s$  = Caja de Salida

$C_{si}$  = Caja de Salida Interior

**Ecuación 26**

$$C_s = L \times L_a \times H_c$$

$$C_s = 1 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 0.9 \text{ m}$$

$$C_s = 0.9 \text{ m}^3$$

$$C_{si} = (1 - 0.30) \text{ m} \times (1 - 0.30) \text{ m} \times (0.9 - 20) \text{ m}$$

$$C_{si} = 0.70 \text{ m} \times 0.70 \text{ m} \times 0.70 \text{ m}$$

$$C_{si} = 0.343 \text{ m}^3$$

### 3.4.18. ALTURA DE LA TUBERÍA EN EL BIODIGESTOR PARA CONducir LA CARGA DIARIA Y SALIDA DE LA MISMA.

Para lo cual se realiza los siguientes cálculos.

$$118.17 \frac{\text{Kg de EF}}{\text{día}} \times 30 \text{ días} = 3545.1 \text{ Kg de EF}$$

Introduciendo al mes 3545.1 Kg de estiércol fresco, de los resultados de laboratorio se tiene que por cada Kg de estiércol fresco el 16 % son sólidos totales teniendo al mes.

#### Ecuación 27

$$ST = \frac{\text{Kg de EF} \times 16 \%}{100 \%}$$

$$ST = \frac{3545.1 \text{ Kg de EF} \times 16 \%}{100 \%}$$

$$ST = 567.22 \text{ Kg de EF}$$

Como 1 Kg de EF = 1 Lt de EF tenemos.

$$ST = 567.22 \text{ Kg de EF} \times \frac{1 \text{ L}}{1 \text{ Kg de EF}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} = 0.567 \text{ m}^3$$



Despejando  $H_t$

Ecuación 28

$$V_{st} = \frac{\pi \emptyset^2}{4} \times H_t$$

Donde

$H_t$  = Altura de la tubería

$V_{st}$  = Volumen de sólidos totales

Ecuación 29

$$H_t = \frac{V_{st} \times 4}{\pi \emptyset^2}$$

$$H_t = \frac{0.567 \text{ m}^3 \times 4}{\pi \times (2.10 \text{ m})^2}$$

$$H_t = 0.164 \text{ m}$$

Con una limpieza del biodigestor cada 4 meses.

Primer mes  $V_{st} - V_{ci}$

$$0.57 \text{ m}^3 - 0.46 \text{ m}^3$$

$$0.11 \text{ m}^3$$

Ecuación 30

$$H_t = \frac{V_{st} \times 4}{\pi \emptyset^2}$$

$$H_t = \frac{0.11 \text{ m}^3 \times 4}{\pi \times (2.10 \text{ m})^2}$$

$$H_t = 0.032 \text{ m}$$

$$H_t = 0.032 \text{ m} + (0.164 \text{ m} \times 3 \text{ meses})$$

$$H_t = 0.52 \text{ m}$$

Teniendo una altura de la tubería de entrada desde la base del biodigestor de 0.52 m tomando en cuenta una limpieza cada 4 meses, se colocara finalmente a 0.70 m de altura desde la base del biodigestor, mientras que la tubería de salida del fluido tendrá 0.80 m de altura desde la base del biodigestor, tomando en cuenta que el fluido de salida es el biol que se extrae de la descomposición de la materia orgánica. (Anexo 10)

#### **3.4.19. TUBERÍA QUE CONDUCE LA CARGA DIARIA DE ESTIÉRCOL AL BIODIGESTOR**

La carga diaria de estiércol-agua y la salida del fluido hacia el biodigestor, será conducida a través de una tubería de PVC de 200 mm de diámetro con una inclinación de 45° con respecto a la horizontal con la finalidad de evitar el estancamiento de la mezcla diaria. (Anexo 9)

#### **3.4.20. TUBERÍA QUE CONDUCE EL BIOGÁS**

Para la extracción del biogás del biodigestor se utilizara una tubería de acero inoxidable de ½ pulgada de diámetro con una longitud de 0.60 m, para la conducción del biogás hasta su uso se utilizara tubería de PVC de ½ pulgada de diámetro. (Anexo 10 y 13)

#### **3.4.21. COMPUERTA DE LIMPIEZA**

La compuerta de limpieza tendrá 0.5 m de longitud y 0.5m de ancho ocupando 0.25 m<sup>2</sup>, la cual ira ubicada en la parte superior de la cúpula, estará conformada del mismo material del biodigestor forrada en sus alrededor con caucho y por encima con cemento puro para evitar la fuga del gas, quedando fácil su abierta y con total comodidad la limpieza del biodigestor. (Anexo 12)

### 3.5. RESUMEN DE LAS DIMENSIONES DEL BIODIGESTOR

Las medidas de diseño del biodigestor están tomadas de los cálculos realizados en el capítulo III, para lo cual se aproximarán los valores. (Anexo 10)

**TABLA XXXI:** Caja de Entrada del Biodigestor

| DESCRIPCIÓN              | SÍMBOLO         | VALOR | UNIDAD         |
|--------------------------|-----------------|-------|----------------|
| Longitud                 | L               | 1     | m              |
| Ancho de la caja         | La              | 1     | m              |
| Altura de la caja        | Hc              | 0.80  | m              |
| Caja de Entrada          | C <sub>en</sub> | 0.80  | m <sup>3</sup> |
| Caja de Entrada Interior | C <sub>ei</sub> | 0.29  | m <sup>3</sup> |

FUENTE: Auto

**TABLA XXXII:** Dimensiones de la Cámara del biodigestor

| DESCRIPCIÓN                                 | SÍMBOLO         | VALOR | UNIDAD         |
|---|-----------------|-------|----------------|
| <b>Tanque del biodigestor</b>               |                 |       |                |
| Volumen del tanque del biodigestor          | V <sub>tb</sub> | 7.10  | m <sup>3</sup> |
| Diámetro interior                           | ∅               | 2.10  | m              |
| Diámetro exterior                           | ∅ <sub>e</sub>  | 2.40  | m              |
| Espesor del Hormigón                        | E               | 0.15  | m              |
| Radio interior del biodigestor              | R               | 1.05  | m              |
| Altura                                      | H               | 2.10  | m              |
| altura del borde de la base                 | H <sub>b</sub>  | 0.32  | m              |
| Altura final del biodigestor                | H <sub>fb</sub> | 3.10  | m              |
| <b>Cúpula Superior del Biodigestor</b>      |                 |       |                |
| Altura de la cúpula superior                | f <sub>1</sub>  | 0.42  | m              |
| Radio de la curvatura de la esfera superior | r <sub>1</sub>  | 1.52  | m              |
| Volumen de la cúpula superior               | V <sub>cs</sub> | 0.77  | m <sup>3</sup> |
| <b>Cúpula Inferior del Biodigestor</b>      |                 |       |                |
| Altura de la cúpula inferior                | f <sub>2</sub>  | 0.26  | m              |
| Radio de la curvatura de la esfera inferior | r <sub>2</sub>  | 2.25  | m              |
| Volumen de la cúpula inferior               | V <sub>ci</sub> | 0.46  | m <sup>3</sup> |

| <b>Biodigestor</b>            |          |      |       |
|-------------------------------|----------|------|-------|
| Volumen del cilindro          | $V_{c1}$ | 7.27 | $m^3$ |
| Volumen final del biodigestor | $V_{fb}$ | 8.50 | $m^3$ |
| Volumen de biogás almacenado  | $V_b$    | 1.4  | $m^3$ |

FUENTE: Autor

**TABLA XXXIII:** Caja de Salida del Biodigestor

| <b>DESCRIPCIÓN</b>      | <b>SÍMBOLO</b> | <b>VALOR</b> | <b>UNIDAD</b> |
|-------------------------|----------------|--------------|---------------|
| Longitud                | L              | 1            | m             |
| Ancho de la caja        | $L_a$          | 1            | m             |
| Altura de la caja       | $H_c$          | 0.90         | m             |
| Caja de Salida          | $C_s$          | 0.90         | $m^3$         |
| Caja de Salida Interior | $C_{si}$       | 0.34         | $m^3$         |

FUENTE: Autor

**TABLA XXXIV:** Altura de la Tubería

| <b>DESCRIPCIÓN</b>                                  | <b>SÍMBOLO</b> | <b>VALOR</b> | <b>UNIDAD</b> |
|---|----------------|--------------|---------------|
| Altura de la tubería de entrada de la mezcla diaria | $H_t$          | 0.70         | m             |
| Altura de la tubería de salida de la tubería        | $H_t$          | 0.80         | m             |
| Diámetro de la tubería                              | $\emptyset$    | 200          | mm            |

FUENTE: Autor

**TABLA XXXV:** Compuerta de Limpieza

| <b>DESCRIPCIÓN</b>       | <b>SÍMBOLO</b> | <b>VALOR</b> | <b>UNIDAD</b> |
|--------------------------|----------------|--------------|---------------|
| Longitud de la compuerta | L              | 0.50         | m             |
| Ancho de la compuerta    | L              | 0.50         | mm            |
| Área de la compuerta     | A              | 0.25         | $m^2$         |

FUENTE: Autor

Las dimensiones detalladas del biodigestor se encuentran en los planos. (Anexo 12 y 10)

**TABLA XXXVI:** Análisis de precios para la Construcción del biodigestor

| <b>PRESUPUESTO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN BIODIGESTOR DE DOMO FIJO O "CHINO'</b> |                                       |                |                 |                           |                        |
|--|---------------------------------------|----------------|-----------------|---------------------------|------------------------|
| <b>PROYECTO : BIODIGESTOR PARA LA RPODUCCIÓN DE BIOGÁS</b>                       |                                       |                |                 |                           |                        |
| <b>FECHA : 14 DE DICIEMBRE DEL 2014</b>  |                                       |                |                 |                           |                        |
| <b>UBICACIÓN : FINCA LOS LAURELES</b>  |                                       |                |                 |                           |                        |
| <b>ITEM</b>  | <b>RUBRO</b>                          | <b>UNIDAD</b>  | <b>CANTIDAD</b> | <b>PRECIO UNITARIO \$</b> | <b>PRECIO TOTAL \$</b> |
| 1  | Mano de obra 3 personas               | días           | 10              | 70                        | 700,00                 |
| 2  | limpieza del terreno                  | m <sup>2</sup> | 15              | 3                         | 45,00                  |
| 3  | Excavación Manual de la tierra        | m <sup>3</sup> | 11              | 10                        | 110,00                 |
| 4  | Encofrado de la pared y cúpula        | m <sup>2</sup> | 75              | 6,4                       | 480,00                 |
| 5  | Quintales de cemneto 50 Kg            | qq             | 18              | 8,75                      | 157,50                 |
| 6  | Malla electrosoldada                  |                | 2               | 80                        | 160,00                 |
| 7  | Hierro de refuerzo                    |                | 8               | 9                         | 72,00                  |
| 8  | Tubería de acero de 1/2 "             | ml             | 1               | 20                        | 20,00                  |
| 9  | Tubería de PVC de 1/2 "               | ml             | 9               | 3,75                      | 33,75                  |
| 10   | Acoples de la tubería de PVC de 1/2 " | ml             | 15              | 1                         | 15,00                  |
| 11   | Tubería de 200 mm                     | m              | 1               | 40                        | 40,00                  |
| 12   | Arena 1/2 de volqueta                 |                | 0,5             | 35                        | 17,50                  |
| 13   | Lastre 1/4 de volqueta                |                | 0,25            | 25                        | 6,25                   |
| 14   | Instalación de la tubería de 1/2 "    | ml             | 1               | 30                        | 30,00                  |
| 15   | Bloques 12 x 15                       |                | 150             | 0,25                      | 37,50                  |
|  |                                       |                |                 | <b>VALOR TOTAL \$</b>     | <b>1924,50</b>         |

**FUENTE:** Autor.

La implementación de un biodigestor no constituye un gasto si no una inversión que traerá a mediano y largo plazo grandes beneficios económicos y ambientales a la finca los Laureles.

Los beneficios directos del uso de la tecnología de los biodigestores puede ser estimada en base al uso del biogás como una fuente alternativa de energía renovable y a la aplicación de nutrientes aportados como fertilizantes y abonos químicos en la agricultura.

El diseño del biodigestor se tomó en relación al beneficio económico según el autor (Bonilla, J, 2005) (un dólar de inversión se gana un dólar setenta de producción de biogás).

El valor comercial del biogás como fuente de energía será estimado en su equivalente en valor energético de un combustible fósil que puede ser remplazado por el uso del biogás comúnmente utilizado el GLP.

### MÉTODO PARA EVALUAR LA INVERSIÓN CON VAN Y TIR

#### GLP

$$115 \frac{\text{m}^3 \text{ de biogás}}{\text{mes}} \times \frac{0.45 \text{ Kg de GLP}}{\text{m}^3 \text{ de biogás}} \times \frac{1 \text{ GLP}}{15 \text{ Kg}} = 3.5 \frac{\text{GLP}}{\text{mes}}$$

1 GLP = 5 USD debido a la distancia para su compra.

3.5 GLP = x USD

#### Ecuación 31

$$\text{USD} = \frac{3.5 \text{ GLP} \times 5 \text{ USD}}{1 \text{ GLP}} \times 1 \text{ año (12 meses)}$$

USD = 210,00 USD al año x 5 años tenemos

USD = 1050,00 USD de ahorro

El presupuesto para la construcción del biodigestor es de 1924,50 USD.

TIR ≥ TMAR                      Se realiza la inversión

VAN ≥ 0                              Se acepta el proyecto

VAN = Vp - I<sub>0</sub>                      Vp = Valor presente                      I<sub>0</sub> = Inversión inicial

I<sub>0</sub>    = 1924,50 USD

Ahorro                                  = 1050,00 USD en 5 años

Tasa de descuento                  = 10,50 %

**Ecuación 32**

$$V_p = \frac{1050,00}{(1.105)^1} \times \frac{1050,00}{(1.105)^2} \times \frac{1050,00}{(1.105)^3} \times \frac{1050,00}{(1.105)^4} \times \frac{1050,00}{(1.105)^5}$$

$$V_p = 950,23 + 859,93 + 778,22 + 704,27 + 637,34$$

$$V_p = 3929,99 \text{ USD}$$

**Ecuación 33**

$$VAN = V_p - I_0$$

$$VAN = 3929,99 - 1924,50$$

$$VAN = 2005,49 \text{ USD} \quad \text{Se acepta la construcción.}$$

TIR = ?

TMAR 5 %

**Ecuación 34**

$$VAN = \frac{1050,00}{(1.05)^1} \times \frac{1050,00}{(1.05)^2} \times \frac{1050,00}{(1.05)^3} \times \frac{1050,00}{(1.05)^4} \times \frac{1050,00}{(1.05)^5} - 1924,50$$

$$VAN = 1000,00 + 952,38 + 907,03 + 863,83 + 822,70 - 1924,50$$

$$VAN = 4545,94 - 1924,50$$

$$VAN = 2621,44$$

$$2621,44 - 2005,49$$

$$0 = 615,95$$

TMAR 20 %

**Ecuación 35**

$$\mathbf{VAN} = \frac{1050,00}{(1,20)^1} \times \frac{1050,00}{(1,20)^2} \times \frac{1050,00}{(1,20)^3} \times \frac{1050,00}{(1,20)^4} \times \frac{1050,00}{(1,20)^5} - 1924,50$$

$$\mathbf{VAN} = 875,00 + 729,17 + 607,64 + 506,37 + 421,97 - 1924,50$$

$$\mathbf{VAN} = 3140,15 \text{ USD} - 1924,50$$

$$\mathbf{VAN} = 1215,65$$

$$1215,65 - 1924,50$$

$$0 = -708,85$$

|      |         |
|------|---------|
| %    | 0       |
| 5    | 615,95  |
| TIR? | 0       |
| 20   | -708,85 |

**Ecuación 36**

$$\mathbf{TIR} - 5 = x \frac{0 - 615,95}{-708,85 - 615,95} (20 - 5)$$

$$\mathbf{TIR} \% = 11,97$$

11,97 > 10,5 % Se lleva a cabo la inversión.



# CAPÍTULO IV

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## CAPÍTULO IV

### 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1. CONCLUSIONES

- ✓ El diseño del biodigestor para la finca los Laureles finalizó con agrado y satisfacción gracias a las condiciones favorables de la finca, requiriéndose una inversión de 1924,50 USD para su construcción recuperándose en 5 años, realizando la viabilidad económica obteniendo como Valor Actual Neto = 2005,49 USD y la Tasa Interna de Retorno = 11,97 % lo cual lo hace viable económicamente.
- ✓ La caracterización del estiércol en pre y post degradación de la materia orgánica se determinó mediante análisis Físicos-Químicos y Microbiológicos, obteniéndose como resultados valores altos en sus parámetros analizados: pH = 7.63, ST = 16 %, Humedad = 80.37%, DQO = 94.17 g/L, DBO<sub>5</sub> = 11,75 g/L, Coliformes Totales = 692500 UFC/100ml valores que determinan que ocasionan un riesgo a los recursos agua y suelo por la disposición directa en el campo y a los sectores aledaños a estos, por lo que es indispensable el diseño de un biodigestor previo a su construcción, para el tratamiento de los desechos de ganado vacuno.

- ✓ La selección del modelo del Biodigestor para la finca los Laureles, se seleccionó mediante la utilización de matrices de decisión, seleccionándose el Biodigestor de Domo Fijo o “CHINO” con una aceptación del 80 %, gracias a sus aspectos a favor, condiciones del lugar y su alta eficiencia a través de los años.
- ✓ El dimensionamiento del Biodigestor de Domo Fijo o “CHINO”, se llevó a cabo mediante cálculos con la utilización de fórmulas establecidas para este tipo de diseño, obteniéndose como resultado un biodigestor de 8.5 m<sup>3</sup> de capacidad, sus dimensiones estructurales se encuentran descritas y acotadas en sus planos para su posterior construcción, sus medidas son: Tanque Biodigestor:  $V_{tb} = 7.10 \text{ m}^3$ ,  $\emptyset = 2.10 \text{ m}$ ,  $r = 1.05 \text{ m}$ ,  $H = 2.10 \text{ m}$ ; Cúpula Superior:  $f_1 = 0.42 \text{ m}$ ,  $r_1 = 1.52 \text{ m}$ ,  $V_{cs} = 0.77 \text{ m}^3$ ; Cúpula Inferior:  $f_2 = 0.26 \text{ m}$ ,  $r_2 = 2.25 \text{ m}$ ,  $V_{ci} = 0.46 \text{ m}^3$ . Volumen:  $V_{c1} = 7.27 \text{ m}^3$ ,  $V_{fb} = 8.50 \text{ m}^3$ ,  $V_b = 1.4 \text{ m}^3$ ,  $H_{fb} = 3.10 \text{ m}$ .

#### 4.2. RECOMENDACIONES

- ✓ El Biodigestor cuando sea construido deberá estar en un lugar adecuado en donde reciba la mayor cantidad de rayos solares para tener así una temperatura óptima para la producción de Biogás natural.
- ✓ Deberá encontrarse cerca de la producción de estiércol, para tener mayor facilidad al momento de ser suministrada y poder acelerar el proceso de producción de gas.
- ✓ Debe estar cerca donde el gas será usado, por la razón de evitar costos en la compra de tuberías para su conducción.
- ✓ Deberá estar por lo menos 20 metros de distancia de alguna fuente de agua, para evitar algún incidente ambiental de contaminación.

# CAPÍTULO V

## BIBLIOGRAFÍA

## CAPÍTULO V

### 5. BIBLIOGRAFÍA:

- (1) **ACURIO, G.**, Diagnóstico de la situación del manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe., 18a ed., Santiago de Chile-Chile., Editorial Publicación conjunta del Banco Interamericano de Desarrollo y la Organización Panamericana de la Salud., 2009., Pp. 10.
  
- (2) **MARTÍNEZ, L.**, El Estiércol y las prácticas agrarias respetuosas con el Medio Ambiente., 3a ed., Madrid-España Editorial Ministerio de Agricultura Pesca y Ganadería., 2012., Pp. 19.
  
- (3) **VARNERO, M.**, Manual de Biogás., 1a ed., Santiago de Chile-Chile., Editorial Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura., 2011., Pp. 9.
  
- (4) **ARBOLEDA, Y.**, Fundamentos para el diseño de biodigestores., Ing. Agrícola., Facultad de Ingeniería y Administración., Escuela de Ingeniería Agrícola., Universidad Nacional de

Colombia Sede Palmira., Palmira-Colombia., **TESIS.**, 2009., Pp. 8-10.

<http://www.bdigital.unal.edu.co/7967/4/luisoctaviogonzalezsalcedo.20121.pdf>

- (5) **LARA, E., HIDALGO, M.**, Diseño de un biorreactor y conducción del biogás generado por las excretas de ganado vacuno, estación TUNSHI-ESPOCH., Facultad de Ciencias Químicas., Escuela de Ingeniería en Biotecnología Ambiental., Escuela Superior Politécnica de Chimborazo., Riobamba-Ecuador., **TESIS.**, 2011., Pp. 98-108.

<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1652/1/236T0056.pdf>

- (6) **PASCUAL, F.**, Rediseño y ensayo de un biodigestor en la granja experimental de la universidad de autónoma Chapingo., de Facultad de Ciencias Agrícolas., Escuela de Ingeniería en Mecánica Agrícola., Universidad Autónoma Chapingo., Chapingo-México., **TESIS.**, 2011., Pp. 11, 18-19, 21-23.

<http://www.chapingo.mx/dima/contenido/tesis2011/tesisPascual.pdf>

- (7) **PIÑA, L., RUFA, L.**, Aprovechamiento de los desechos orgánicos para la producción de biogás y abono a través de un biodigestor., Facultad de Recursos Naturales., Escuela de Ingeniería en gas y Servicios Comunitarios., Universidad Nacional Experimental Politécnica de la fuerza Armada Núcleo Portuguesa-Extensión Acarigua., Acarigua-Venezuela., **TESIS.**, 2008., Pp. 13-15.

<http://www.es.scribd.com/doc/54822311/proyecto-de-biodigestor>

(8) **PROAÑO, G.**, Optimización en la operación de un biodigestor a escala piloto y caracterización de productos y materia prima., Facultad de Ciencias e Ingeniería., Escuela de Ingeniería Química., Universidad San Francisco de Quito., Quito- Ecuador., **TESIS.**, 2011., Pp. 15-16.  
<http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/999/1/100164.pdf>

(9) **SORTO, R., RIVAS, L., CANALES, M.**, Estudio del proceso Bioquímico de fermentación en digestores para la producción de biogás y biofertilizante a partir de residuos orgánicos provenientes del campus de la Universidad de el Salvador., Facultad de Ingeniería y Arquitectura., Escuela de Ingeniería. Química., Universidad de el Salvador., San Salvador-El Salvador., **TESIS.**, 2010., Pp. 30-34.  
<https://www.yumpu.com/es/document/view/15352261/descargar-4mb-universidad-de-el-salvador>

(10) **ECUADOR., MINISTERIO DEL AMBIENTE.**, Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio de Ambiente, Libro VI, Anexo 1, tabla 1 y 6 “Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce”., Quito-Ecuador., MAE., 2003., Pp. 211, 217, 219

(11) **ESPAÑA., APHA-AWWA-WPCF.** Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales., 22N ed., Madrid-España., Díaz de Santos, S.A., 1992., Pp. 90-94,

91, 69-70,62-62, 67, 16-18, 5-8, 172-176, 177-181, 185-187.

**(12) ABONOS ORGÁNICOS**

<http://www.abonillosorganicospuros.blogspot.com/p/estiercol.html>

2013/12/19

**(13) BIODIGESTORES**

<http://laenergiaparatodosytodas.blogspot.com/2013/10/si-la-energia-que-usas-no-es-renovable.html>

2013/12/26

**(14) CONSTITUCIÓN NACIONAL DEL ECUADOR.**

[http://www.asambleanacional.gov.ec/documento/constitucion\\_de\\_bolsillo2008.pdf](http://www.asambleanacional.gov.ec/documento/constitucion_de_bolsillo2008.pdf)

2013/04/25

**(15) CARACTERÍSTICAS DEL BIOGAS**

<http://www.repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/308/7/T-ESPE-026444-3.pdf>

2013/01/06

**(16) DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN DEL MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE.**

<http://www.bvsde.paho.org/acrobat/diagnost.pdf>

2013/12/19



**(17) FUNDAMENTOS, ENTORNOS, TECNOLOGÍAS Y SISTEMAS DE GESTIÓN.**

[http://www.researchgate.net/publication/40939969\\_Ingenier  
a\\_ambiental\\_fundamentos\\_entornos\\_tecnologas\\_y\\_sistem  
as\\_de\\_gestin.](http://www.researchgate.net/publication/40939969_Ingenier_a_ambiental_fundamentos_entornos_tecnologas_y_sistemas_de_gestin)

2013/05/25

**(18) GAS METANO A TRAVÉS DE RESIDUOS ORGÁNICOS.**

<https://www.sites.google.com/site/energiaenlinea/calendar>

[2013/12/20](#)

**(19) METANO**

[http://agrortizeu.blogspot.com/2009/08/quieres-producir-  
gas-metanao-para-la.html](http://agrortizeu.blogspot.com/2009/08/quieres-producir-gas-metanao-para-la.html)

201/01/06

**(20) MICROORGANISMOS PRODUCTORES DE METANO**

[http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan2/031042/031042.p  
df](http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan2/031042/031042.pdf)

2013/12/26

**(21) PLANTHOGAR.NET COMPOSICIÓN DEL BIOGÁS**

[http://www.planthogar.net/encyclopedia/jump.asp?doc=000  
00293.htm](http://www.planthogar.net/encyclopedia/jump.asp?doc=00000293.htm)

2013/12/26

**(22) PROMOTORES E INHIBIDORES DE LA FERMENTACIÓN.**

[http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan2/031042/031042.p](http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan2/031042/031042.pdf)

[df](http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan2/031042/031042.pdf)

2013/03/28

**(23) PROCESOS DENTRO DE UN BIODIGESTOR.**

<http://www.dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1938/1>

[2/UPSCT002337.pdf](http://www.dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1938/1)

2013/12/20

**(24) RECICLAJE DE MATERIAS ORGÁNICAS Y BIOGÁS.**

[http://www.rlc.fao.org/fileadmin/content/publicaciones/man](http://www.rlc.fao.org/fileadmin/content/publicaciones/manual_biogas.pdf)

[ual\\_biogas.pdf](http://www.rlc.fao.org/fileadmin/content/publicaciones/manual_biogas.pdf)

2013/03/25

**(25) VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS BIODIGESTORES.**

[http://www.fao.org/alc/file/media/pubs/2011/manual\\_bioga](http://www.fao.org/alc/file/media/pubs/2011/manual_biogas.pdf)

[s.pdf](http://www.fao.org/alc/file/media/pubs/2011/manual_biogas.pdf)

2013/04/08

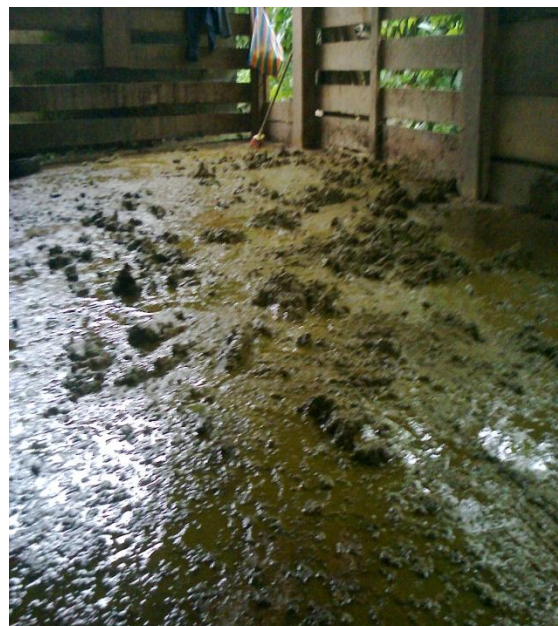
# ANEXOS

**ANEXO 1: TOMA DE MUESTRAS DE ESTIÉRCOL PARA ANÁLISIS FÍSICOS, QUÍMICOS MICROBIOLÓGICOS.**





**ANEXO 2: DETERMINACIÓN DE LA CARGA DIARIA DE ESTIÉRCOL.**






**ANEXO 3: ESTIÉRCOL DIARIO CUANTIFICADO EN EL ESTABLO.**



**ANEXO 4: MUESTREO**



**ANEXO 5: RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS FÍSICOS, QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS.**

|   |  |  |
|---|--|--|
|  | VICARIATO APOSTOLICO DE AGUARICO<br>Fray P. de Villarquemado S/N y Av. Labaka<br>E-mail: laboratorio@labsu.com<br>Coca, Provincia de Orellana - Ecuador<br>Telefax: (593)06- 2881105 | Laboratorio de ensayo acreditado por el OAE con acreditación N° OAE LE 2C 07-003 |
|   | <b>INFORME DE ENSAYO N°: S/N</b>   |  |
|   | SPS: 13 -S/N   | Análisis de estiércol  |

**Sr. Darwin Verdezoto**

Dirección: Coca.

**1.- Datos generales:**


Recogidas por..... Sr. Darwin Verdezoto.  
 Fecha hora de toma de muestra..... 2 013 09 02 06:00.  
 Fecha hora ingreso al Laboratorio ..... 2 013 09 02 08:35.  
 Fecha del análisis..... 2 013 09 02 a 2 013 09 13.  
 Condiciones Ambientales de Análisis..... T. Máx: 26,5°C T. Mín: 22,0°C  
 Código de LabSu..... Identificación de la muestra.  
 M1..... Muestra de Estiércol pre degradación, Comunidad Flor del Manduro, Finca los Laureles

**2.- Resultados / Parámetros y métodos / Referencias:**

| Ítem | Análisis solicitados           | Unidad     | M 1        | PEE-LABSU    | Método / Norma Referencia | Incertidumbre (K=2) |
|------|--------------------------------|------------|------------|--------------|---------------------------|---------------------|
| 1    | Potencial hidrógeno            | ~          | 7,47       | PEE-LABSU-12 | EPA 9045 C                | ± 0,05              |
| 2    | *Temperatura                   | °C         | 29,5       | ~            | ~                         | ~                   |
| 3    | Sólidos totales                | mg/L       | 1 419,07   | PEE-LABSU-49 | SM 2540 B                 | ± 10%               |
| 4    | *Sólidos volátiles             | %          | 63,20      | PEE-LABSU-38 | Gavimetría                | ~                   |
| 5    | *Humedad                       | %          | 80,09      | PEE-LABSU-38 | Gavimetría                | ~                   |
| 6    | *Ceniza                        | %          | 15,44      | PEE-LABSU-38 | Gavimetría                | ~                   |
| 7    | *Demanda química de oxígeno    | mg/L       | 11 0070,00 | PEE-LABSU-89 | HACH 8000                 | ~                   |
| 8    | *Demanda bioquímica de Oxígeno | mg/L       | 17 000     | PEE-LABSU-09 | SM 5210 B                 | ~                   |
| 9    | *Sulfuros                      | mg/L       | 31,2       | PEE-LABSU-83 | HACH 8131                 | ~                   |
| 10   | Coliformes totales             | Col/100 mL | 73 0000    | PEE-LABSU-44 | SM 9222 B                 | ± 12%               |
| 11   | Coliformes fecales             | Col/100 mL | 69 0000    | PEE-LABSU-43 | SM 9222 D                 | ± 5%                |

**3.- Responsables del Informe:**

Autorización:   
 Dr. Fabián Arias Arias.  
 DIRECTOR TÉCNICO

  
 Ing. Ricardo Caicedo Parra.  
 RESPONSABLE CALIDAD

Notas: El informe sólo afecta a las muestras sometidas a ensayo.  
 Prohibida la reproducción total o parcial; por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio.  
 Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE

MC2201-04





VICARIATO APOSTOLICO DE AGUARICO  
 Fray P. de Villarquemado S/N y Av. Labaka  
 E-mail: laboratorio@labsu.com  
 Coca, Provincia de Orellana - Ecuador  
 Telefax:(593)06- 2881105

Laboratorio de ensayo acreditado por el OAE con acreditación N° OAE LE 2C 07-003

**INFORME DE ENSAYO N°: S/N**

SPS: 13 -S/N      Análisis de estiércol

**Sr. Darwin Verdezoto**

Dirección: Coca.

**1.- Datos generales:**

Recogidas por ..... Sr. Darwin Verdezoto.  
 Fecha hora de toma de muestra ..... 2 013 09 02      06:00.  
 Fecha hora ingreso al Laboratorio ..... 2 013 09 02      08:35.  
 Fecha del análisis ..... 2 013 09 02 a 2 013 09 13.  
 Condiciones Ambientales de Análisis ..... T. Máx: 26,5°C    T. Mín: 22,0°C  
 Código de LabSu ..... **Identificación de la muestra.**


M 2 ..... **Muestra de Estiércol pre degradación, Comunidad Flor del Manduro, Finca los Laureles**

**2.- Resultados / Parámetros y métodos / Referencias:**

| Ítem | Análisis solicitados           | Unidad     | M 2        | PEE-LABSU    | Método / Norma Referencia | Incertidumbre (K=2) |
|------|--------------------------------|------------|------------|--------------|---------------------------|---------------------|
| 1    | Potencial hidrógeno            | ~          | 7,32       | PEE-LABSU-12 | EPA 9045 C                | ± 0,05              |
| 2    | *Temperatura                   | °C         | 30,20      | ~            | ~                         | ~                   |
| 3    | Sólidos totales                | mg/L       | 1 442,42   | PEE-LABSU-49 | SM 2540 B                 | ± 10%               |
| 4    | *Sólidos volátiles             | %          | 60,76      | PEE-LABSU-38 | Gavimetría                | ~                   |
| 5    | *Humedad                       | %          | 81,43      | PEE-LABSU-38 | Gavimetría                | ~                   |
| 6    | *Ceniza                        | %          | 14,64      | PEE-LABSU-38 | Gavimetría                | ~                   |
| 7    | *Demanda química de oxígeno    | mg/L       | 13 0020,00 | PEE-LABSU-89 | HACH 8000                 | ~                   |
| 8    | *Demanda bioquímica de Oxígeno | mg/L       | 19 000     | PEE-LABSU-09 | SM 5210 B                 | ~                   |
| 9    | *Sulfuros                      | mg/L       | 21,9       | PEE-LABSU-83 | HACH 8131                 | ~                   |
| 10   | Coliformes totales             | Col/100 mL | 75 0000    | PEE-LABSU-44 | SM 9222 B                 | ± 12%               |
| 11   | Coliformes fecales             | Col/100 mL | 60 0000    | PEE-LABSU-43 | SM 9222 D                 | ± 5%                |

**3.- Responsables del Informe:**

Autorización:  **Dr. Fabián Arias Arias**  
 DIRECTOR TÉCNICO

  
**Ing. Ricardo Caicedo Parra**  
 RESPONSABLE CALIDAD

Notas: El informe sólo afecta a las muestras sometidas a ensayo.  
 Prohibida la reproducción total o parcial; por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio.  
 Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE

MC2201-04





VICARIATO APOSTOLICO DE AGUARICO  
 Fray P. de Villarquemado S/N y Av. Labaka  
 E-mail: laboratorio@labsu.com  
 Coca, Provincia de Orellana - Ecuador  
 Telefax:(593)06- 2881105

Laboratorio de ensayo acreditado por el OAE con acreditación N° OAE LE 2C 07-003

**INFORME DE ENSAYO N°: S/N**

SPS: 13 -S/N      Análisis de estiércol

**Sr. Darwin Verdezoto**

Dirección: Coca.

**1.- Datos generales:**

Recogidas por..... Sr. Darwin Verdezoto.  
 Fecha hora de toma de muestra..... 2 013 09 02      06:00.  
 Fecha hora ingreso al Laboratorio ..... 2 013 09 02      08:35.  
 Fecha del análisis ..... 2 013 09 02 a 2 013 09 13.  
 Condiciones Ambientales de Análisis ..... T. Máx: 26,5°C    T. Mín: 22,0°C  
 Código de LabSu..... **Identificación de la muestra.**

M 3..... **Muestra de Estiércol pre degradación, Comunidad Flor del Manduro, Finca los Laureles**

**2.- Resultados / Parámetros y métodos / Referencias:**

| Ítem | Análisis solicitados           | Unidad     | M 3        | PEE-LABSU    | Método / Norma Referencia | Incertidumbre (K=2) |
|------|--------------------------------|------------|------------|--------------|---------------------------|---------------------|
| 1    | Potencial hidrógeno            | ~          | 7,32       | PEE-LABSU-12 | EPA 9045 C                | ± 0,05              |
| 2    | *Temperatura                   | °C         | 29,1       | ~            | ~                         | ~                   |
| 3    | Sólidos totales                | mg/L       | 1 577,89   | PEE-LABSU-49 | SM 2540 B                 | ± 10%               |
| 4    | *Solidos volátiles             | %          | 60,64      | PEE-LABSU-38 | Gavimetría                | ~                   |
| 5    | *Humedad                       | %          | 83,74      | PEE-LABSU-38 | Gavimetría                | ~                   |
| 6    | *Ceniza                        | %          | 16,28      | PEE-LABSU-38 | Gavimetría                | ~                   |
| 7    | *Demanda química de oxígeno    | mg/L       | 10 7620,00 | PEE-LABSU-89 | HACH 8000                 | ~                   |
| 8    | *Demanda bioquímica de Oxígeno | mg/L       | 12 000     | PEE-LABSU-09 | SM 5210 B                 | ~                   |
| 9    | *Sulfuros                      | mg/L       | 10,6       | PEE-LABSU-83 | HACH 8131                 | ~                   |
| 10   | Coliformes totales             | Col/100 mL | 78 0000    | PEE-LABSU-44 | SM 9222 B                 | ± 12%               |
| 11   | Coliformes fecales             | Col/100 mL | 62 0000    | PEE-LABSU-43 | SM 9222 D                 | ± 5%                |


**3.- Responsables del Informe:**

Autorización: Dr. Fabián Arias Arias  
 DIRECTOR TECNICO

Ing. Ricardo Caicedo Parra  
 RESPONSABLE CALIDAD

Notas: El informe sólo afecta a las muestras sometidas a ensayo.  
 Prohibida la reproducción total o parcial; por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio.  
 Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE

MC2201-04

|   |  |                       |   |
|---|--|-----------------------|---|
|  | <b>VICARIATO APOSTOLICO DE AGUARICO</b><br>Fray P. de Villarquemado S/N y Av. Labaka<br>E-mail: laboratorio@labsu.com<br>Coca, Provincia de Orellana - Ecuador<br>Telefax:(593)06- 2881105 |                       | <b>Laboratorio de ensayo acreditado por el OAE con acreditación N° OAE LE 2C 07-003</b> |
|   | <b>INFORME DE ENSAYO N°: S/N</b>   |                       |   |
|   | SPS: 13 -S/N   | Análisis de estiércol |   |

## Sr. Darwin Verdezoto

Dirección: Coca.

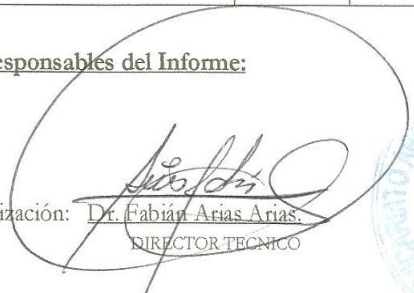
### 1.- Datos generales:

Recogidas por ..... Sr. Darwin Verdezoto.  
 Fecha hora de toma de muestra ..... 2 013 09 02 06:00.  
 Fecha hora ingreso al Laboratorio ..... 2 013 09 02 08:35.  
 Fecha del análisis ..... 2 013 09 02 a 2 013 09 13.  
 Condiciones Ambientales de Análisis ..... T. Máx: 26,5°C T. Mín: 22,0°C  
 Código de LabSu ..... **Identificación de la muestra.**  
 M 4 ..... **Muestra de Estiércol pre degradación, Comunidad Flor del Manduro, Finca los Laureles**

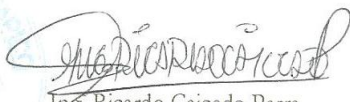
### 2.- Resultados / Parámetros y métodos / Referencias:

| Ítem | Análisis solicitados           | Unidad     | M 4       | PEE-LABSU    | Método / Norma Referencia | Incertidumbre (K=2) |
|------|--------------------------------|------------|-----------|--------------|---------------------------|---------------------|
| 1    | Potencial hidrógeno            | ~          | 7,32      | PEE-LABSU-12 | EPA 9045 C                | ± 0,05              |
| 2    | *Temperatura                   | °C         | 29,00     | ~            | ~                         | ~                   |
| 3    | Sólidos totales                | mg/L       | 1 260,10  | PEE-LABSU-49 | SM 2540 B                 | ± 10%               |
| 4    | *Sólidos volátiles             | %          | 68,50     | PEE-LABSU-38 | Gavimetría                | ~                   |
| 5    | *Humedad                       | %          | 85,16     | PEE-LABSU-38 | Gavimetría                | ~                   |
| 6    | *Ceniza                        | %          | 14,38     | PEE-LABSU-38 | Gavimetría                | ~                   |
| 7    | *Demanda química de oxígeno    | mg/L       | 80 040,00 | PEE-LABSU-89 | HACH 8000                 | ~                   |
| 8    | *Demanda bioquímica de Oxígeno | mg/L       | 11 000    | PEE-LABSU-09 | SM 5210 B                 | ~                   |
| 9    | *Sulfuros                      | mg/L       | 8,5       | PEE-LABSU-83 | HACH 8131                 | ~                   |
| 10   | Coliformes totales             | Col/100 mL | 72 0000   | PEE-LABSU-44 | SM 9222 B                 | ± 12%               |
| 11   | Coliformes fecales             | Col/100 mL | 68 0000   | PEE-LABSU-43 | SM 9222 D                 | ± 5%                |

### 3.- Responsables del Informe:

  
 Autorización: **Dr. Fabián Arias Arias.**  
 DIRECTOR TECNICO



  
**Ing. Ricardo Caicedo Parra.**  
 RESPONSABLE CALIDAD

Notas: El informe sólo afecta a las muestras sometidas a ensayo.  
 Prohibida la reproducción total o parcial, por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio.  
 Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE

MC2201-04





VICARIATO APOSTOLICO DE  
AGUARICO  
Fray P. de Villarquemado S/N y Av.  
Labaka  
E-mail: laboratorio@labsu.com  
Coca, Provincia de Orellana - Ecuador  
Telefax:(593)06- 2881105

Laboratorio de ensayo  
acreditado por el OAE con  
acreditación N° OAE LE  
2C 07-003

**INFORME DE  
ENSAYO N°: S/N**

SPS: 13 -S/N

Análisis de estiércol

## Sr. Darwin Verdezoto

Dirección: Coca.

### 1.- Datos generales:

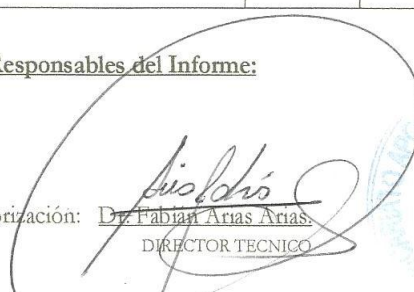
Recogidas por ..... Sr. Darwin Verdezoto.  
Fecha hora de toma de muestra ..... 2 013 09 06 07:00.  
Fecha hora ingreso al Laboratorio ..... 2 013 09 06 09:00.  
Fecha del análisis ..... 2 013 09 06 a 2 013 09 13.  
Condiciones Ambientales de Análisis ..... T. Máx: 25,5°C T. Mín: 21,0°C  
Código de LabSu ..... **Identificación de la muestra.**


M 5 ..... **Muestra de Estiércol post degradación, Comunidad Flor del  
Manduro, Finca los Laureles**

### 2.- Resultados / Parámetros y métodos / Referencias:

| Ítem | Análisis solicitados           | Unidad     | M 5       | PEE-LABSU    | Método / Norma Referencia | Incertidumbre (K=2) |
|------|--------------------------------|------------|-----------|--------------|---------------------------|---------------------|
| 1    | Potencial hidrógeno            | ~          | 7,92      | PEE-LABSU-12 | EPA 9045 C                | ± 0,05              |
| 2    | *Temperatura                   | °C         | 25,1      | ~            | ~                         | ~                   |
| 3    | Sólidos totales                | mg/L       | 1 687,04  | PEE-LABSU-49 | SM 2540 B                 | ± 10%               |
| 4    | *Sólidos volátiles             | %          | 60,27     | PEE-LABSU-38 | Gavimetría                | ~                   |
| 5    | *Humedad                       | %          | 78,56     | PEE-LABSU-38 | Gavimetría                | ~                   |
| 6    | *Ceniza                        | %          | 16,95     | PEE-LABSU-38 | Gavimetría                | ~                   |
| 7    | *Demanda química de oxígeno    | mg/L       | 80 820,00 | PEE-LABSU-89 | HACH 8000                 | ~                   |
| 8    | *Demanda bioquímica de Oxígeno | mg/L       | 11 000    | PEE-LABSU-09 | SM 5210 B                 | ~                   |
| 9    | *Sulfuros                      | mg/L       | 34,8      | PEE-LABSU-83 | HACH 8131                 | ~                   |
| 10   | Coliformes totales             | Col/100 mL | 64 0000   | PEE-LABSU-44 | SM 9222 B                 | ± 12%               |
| 11   | Coliformes fecales             | Col/100 mL | 43 0000   | PEE-LABSU-43 | SM 9222 D                 | ± 5%                |

### 3.- Responsables del Informe:

Autorización:   
D<sup>r</sup> Fabian Arias Arias  
DIRECTOR TECNICO


  
Ing. Ricardo Caicedo Parra  
RESPONSABLE CALIDAD

Notas: El informe sólo afecta a las muestras sometidas a ensayo.

Prohibida la reproducción total o parcial; por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio.

Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE

MC2201-04

|   |  |                       |   |
|---|--|-----------------------|---|
|  | <b>VICARIATO APOSTOLICO DE AGUARICO</b><br>Fray P. de Villarquemado S/N y Av. Labaka<br>E-mail: laboratorio@labsu.com<br>Coca, Provincia de Orellana - Ecuador<br>Telefax:(593)06- 2881105 |                       | <b>Laboratorio de ensayo acreditado por el OAE con acreditación N° OAE LE 2C 07-003</b> |
|   | <b>INFORME DE ENSAYO N°: S/N</b>   |                       |   |
| SPS: 13 -S/N  |  | Análisis de estiércol |   |

## Sr. Darwin Verdezoto

Dirección: Coca.

### 1.- Datos generales:

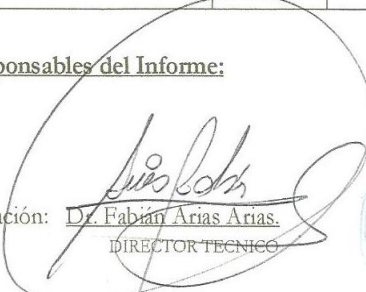
Recogidas por ..... Sr. Darwin Verdezoto.  
 Fecha hora de toma de muestra ..... 2 013 09 06 07:00.  
 Fecha hora ingreso al Laboratorio ..... 2 013 09 06 09:00.  
 Fecha del análisis ..... 2 013 09 06 a 2 013 09 13.  
 Condiciones Ambientales de Análisis ..... T. Máx: 25,5°C T. Mín: 21,0°C  
 Código de LabSu ..... **Identificación de la muestra.**


M 6 ..... **Muestra de Estiércol post degradación, Comunidad Flor del Manduro, Finca los Laureles**

### 2.- Resultados / Parámetros y métodos / Referencias:

| Ítem | Análisis solicitados           | Unidad     | M 6       | PEE-LABSU    | Método / Norma Referencia | Incertidumbre (K=2) |
|------|--------------------------------|------------|-----------|--------------|---------------------------|---------------------|
| 1    | Potencial hidrógeno            | ~          | 8,10      | PEE-LABSU-12 | EPA 9045 C                | ± 0,05              |
| 2    | *Temperatura                   | °C         | 25,2      | ~            | ~                         | ~                   |
| 3    | Sólidos totales                | mg/L       | 2 297,51  | PEE-LABSU-49 | SM 2540 B                 | ± 10%               |
| 4    | *Sólidos volátiles             | %          | 65,15     | PEE-LABSU-38 | Gavimetría                | ~                   |
| 5    | *Humedad                       | %          | 75,99     | PEE-LABSU-38 | Gavimetría                | ~                   |
| 6    | *Ceniza                        | %          | 16,33     | PEE-LABSU-38 | Gavimetría                | ~                   |
| 7    | *Demanda química de oxígeno    | mg/L       | 98 840,00 | PEE-LABSU-89 | HACH 8000                 | ~                   |
| 8    | *Demanda bioquímica de Oxígeno | mg/L       | 10 000    | PEE-LABSU-09 | SM 5210 B                 | ~                   |
| 9    | *Sulfuros                      | mg/L       | 19,9      | PEE-LABSU-83 | HACH 8131                 | ~                   |
| 10   | Coliformes totales             | Col/100 mL | 48 0000   | PEE-LABSU-44 | SM 9222 B                 | ± 12%               |
| 11   | Coliformes fecales             | Col/100 mL | 39 0000   | PEE-LABSU-43 | SM 9222 D                 | ± 5%                |

### 3.- Responsables del Informe:


Autorización:   
**Dr. Fabián Arias Arias**  
 DIRECTOR TÉCNICO

  
**Ing. Ricardo Caicedo Parra**  
 RESPONSABLE CALIDAD

Notas: El informe sólo afecta a las muestras sometidas a ensayo.  
 Prohibida la reproducción total o parcial; por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio.  
 Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE

MC2201-04



|   |  |   |
|---|--|---|
|  | <b>VICARIATO APOSTOLICO DE AGUARICO</b><br>Fray P. de Villarquemado S/N y Av. Labaka<br>E-mail: laboratorio@labsu.com<br>Coca, Provincia de Orellana - Ecuador<br>Telefax:(593)06- 2881105 | <b>Laboratorio de ensayo acreditado por el OAE con acreditación N° OAE LE 2C 07-003</b> |
|   | <b>INFORME DE ENSAYO N°: S/N</b>   |   |
| SPS: 13 -S/N  | Análisis de estiércol  |   |

## Sr. Darwin Verdezoto

Dirección: Coca.

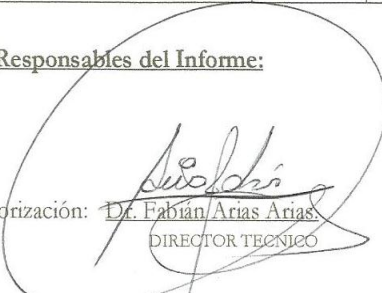
### 1.- Datos generales:


Recogidas por ..... Sr. Darwin Verdezoto.  
 Fecha hora de toma de muestra ..... 2 013 09 06 07:00.  
 Fecha hora ingreso al Laboratorio ..... 2 013 09 06 09:00.  
 Fecha del análisis ..... 2 013 09 06 a 2 013 09 13.  
 Condiciones Ambientales de Análisis ..... T. Máx: 25,5°C T. Mín: 21,0°C  
 Código de LabSu ..... **Identificación de la muestra.**  
 M 7 ..... **Muestra de Estiércol post degradación, Comunidad Flor del Manduro, Finca los Laureles**

### 2.- Resultados / Parámetros y métodos / Referencias:

| Ítem | Análisis solicitados           | Unidad     | M 7       | PEE-LABSU    | Método / Norma Referencia | Incertidumbre (K=2) |
|------|--------------------------------|------------|-----------|--------------|---------------------------|---------------------|
| 1    | Potencial hidrógeno            | ~          | 7,88      | PEE-LABSU-12 | EPA 9045 C                | ± 0,05              |
| 2    | *Temperatura                   | °C         | 24,8      | ~            | ~                         | ~                   |
| 3    | Sólidos totales                | mg/L       | 1 841,11  | PEE-LABSU-49 | SM 2540 B                 | ± 10%               |
| 4    | *Solidos volátiles             | %          | 66,84     | PEE-LABSU-38 | Gavimetría                | ~                   |
| 5    | *Humedad                       | %          | 80,25     | PEE-LABSU-38 | Gavimetría                | ~                   |
| 6    | *Ceniza                        | %          | 16,63     | PEE-LABSU-38 | Gavimetría                | ~                   |
| 7    | *Demanda química de oxígeno    | mg/L       | 86 117,00 | PEE-LABSU-89 | HACH 8000                 | ~                   |
| 8    | *Demanda bioquímica de Oxígeno | mg/L       | 7 0000    | PEE-LABSU-09 | SM 5210 B                 | ~                   |
| 9    | *Sulfuros                      | mg/L       | 18,6      | PEE-LABSU-83 | HACH 8131                 | ~                   |
| 10   | Coliformes totales             | Col/100 mL | 72 0000   | PEE-LABSU-44 | SM 9222 B                 | ± 12%               |
| 11   | Coliformes fecales             | Col/100 mL | 60 0000   | PEE-LABSU-43 | SM 9222 D                 | ± 5%                |

### 3.- Responsables del Informe:

Autorización:   
**Dr. Fabián Arias Arias**  
 DIRECTOR TECNICO

  
**Ing. Ricardo Caicedo Parra**  
 RESPONSABLE CALIDAD

Notas: El informe sólo afecta a las muestras sometidas a ensayo.  
 Prohibida la reproducción total o parcial; por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio.  
 Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE

MC2201-04



VICARIATO APOSTOLICO DE AGUARICO  
 Fray P. de Villarquemado S/N y Av. Labaka  
 E-mail: laboratorio@labsu.com  
 Coca, Provincia de Orellana - Ecuador  
 Telefax: (593)06- 2881105

Laboratorio de ensayo acreditado por el OAE con acreditación N° OAE LE 2C 07-003

**INFORME DE ENSAYO N°: S/N**

SPS: 13 -S/N      Análisis de estiércol

**Sr. Darwin Verdezoto**

Dirección: Coca.

**1.- Datos generales:**

Recogidas por..... Sr. Darwin Verdezoto.  
 Fecha hora de toma de muestra..... 2 013 09 06      07:00.  
 Fecha hora ingreso al Laboratorio ..... 2 013 09 06      09:00.  
 Fecha del análisis..... 2 013 09 06 a 2 013 09 13.  
 Condiciones Ambientales de Análisis..... T. Máx: 25,5°C T. Mín: 21,0°C  
 Código de LabSu..... **Identificación de la muestra.**  
 M 8..... **Muestra de Estiércol post degradación, Comunidad Flor del Manduro, Finca los Laureles**

**2.- Resultados / Parámetros y métodos / Referencias:**

| Ítem | Análisis solicitados           | Unidad     | M 8       | PEE-LABSU    | Método / Norma Referencia | Incertidumbre (K=2) |
|------|--------------------------------|------------|-----------|--------------|---------------------------|---------------------|
| 1    | Potencial hidrógeno            | ~          | 7,68      | PEE-LABSU-12 | EPA 9045 C                | ± 0,05              |
| 2    | *Temperatura                   | °C         | 24,8      | ~            | ~                         | ~                   |
| 3    | Sólidos totales                | mg/L       | 1 361,72  | PEE-LABSU-49 | SM 2540 B                 | ± 10%               |
| 4    | *Sólidos volátiles             | %          | 62,25     | PEE-LABSU-38 | Gavimetría                | ~                   |
| 5    | *Humedad                       | %          | 77,70     | PEE-LABSU-38 | Gavimetría                | ~                   |
| 6    | *Ceniza                        | %          | 16,78     | PEE-LABSU-38 | Gavimetría                | ~                   |
| 7    | *Demanda química de oxígeno    | mg/L       | 59 834,00 | PEE-LABSU-89 | HACH 8000                 | ~                   |
| 8    | *Demanda bioquímica de Oxígeno | mg/L       | 7 000     | PEE-LABSU-09 | SM 5210 B                 | ~                   |
| 9    | *Sulfuros                      | mg/L       | 19,1      | PEE-LABSU-83 | HACH 8131                 | ~                   |
| 10   | Coliformes totales             | Col/100 mL | 72 0000   | PEE-LABSU-44 | SM 9222 B                 | ± 12%               |
| 11   | Coliformes fecales             | Col/100 mL | 60 0000   | PEE-LABSU-43 | SM 9222 D                 | ± 5%                |

**3.- Responsables del Informe:**

  
 Autorización: Dr. Fabián Arias Arias  
 DIRECTOR TÉCNICO


  
Ing. Ricardo Caicedo Parra  
 RESPONSABLE CALIDAD


Notas: El informe sólo afecta a las muestras sometidas a ensayo.  
 Prohibida la reproducción total o parcial; por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio.  
 Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE

MC2201-04



**ANEXO 6: HOJA DE RESULTADOS DE SÓLIDOS TOTALES FALTANDO MULTIPLICAR POR LA DILUCIÓN.**

| <br>Laboratorio de Suelos, Aguas y Plantas |                | DETERMINACION DE SOLIDOS TOTALES<br>PEE-LABSU-49                      |                          |  |                                   |                                 | Hoja N° 13-  |
|---|----------------|---|--------------------------|--|-----------------------------------|---------------------------------|--|
|   |                | $STmg/L = \frac{D - B * 1000000}{C}$ DETERMINACION DE SOLIDOS TOTALES |                          |  |                                   |                                 |  |
| Fecha<br>(día/mes/año)  | Realizado por: | Cód. LabSu  | B<br>Peso vaso vacío (g) | C<br>Peso muestra (g)                                    | D<br>Peso Vaso + Muestra seca (g) | ST mg/L<br>Equipos EI/04, EI/21 | Observaciones:<br>tipo de agua, responsable supervicion y fechas |
| 02/09/2013  | DV             | aS1d300   | 29,9940                  | 36.4049  | 30.0047                           | 293,92                          | Dilucion 100   |
| 02/09/2013  | DV             | aM1   | 30.2325                  | 31.7814  | 30.2776                           | 1419.07                         | Dilucion 100   |
| 02/09/2013  | DV             | aM2   | 32.2355                  | 34.0400  | 32.2847                           | 1442.42                         | Dilucion 100   |
| 02/09/2013  | DV             | aM3   | 30.0024                  | 34.4765  | 30.0568                           | 1577.89                         | Dilucion 100   |
| 02/09/2013  | DV             | aM4   | 36.8245                  | 36.9813  | 36.8711                           | 1260.10                         | Dilucion 100   |
|   |                | a   |                          |  |                                   |                                 |  |
| 06/09/2013  | DV             | aS1d300   | 31,2201                  | 32,3664  | 31,2794                           | 287,34                          |  |
| 06/09/2013  | DV             | aM5   | 31.2117                  | 32.5422  | 31.2666                           | 1687,04                         | Dilucion 100   |
| 06/09/2013  | DV             | aM6   | 30.8149                  | 31.5994  | 30.8875                           | 2797,51                         | Dilucion 100   |
| 06/09/2013  | DV             | aM7   | 32.1661                  | 32.3718  | 32.2257                           | 1841,11                         | Dilucion 100   |
| 06/09/2013  | DV             | aM8   | 30.9202                  | 33.7809  | 30.9662                           | 1361,72                         | Dilucion 100   |
|   |                | a   |                          |  |                                   |                                 |  |
|   |                | a   |                          |  |                                   |                                 |  |
|   |                | a   |                          |  |                                   |                                 |  |
|   |                | a   |                          |  |                                   |                                 |  |
|   |                | a   |                          |  |                                   |                                 |  |
|   |                | a   |                          |  |                                   |                                 |  |
|   |                | a   |                          |  |                                   |                                 |  |
|   |                | a   |                          |  |                                   |                                 |  |
|   |                | a   |                          |  |                                   |                                 |  |
|   |                | a   |                          |  |                                   |                                 |  |
|   |                | a   |                          |  |                                   |                                 |  |
|   |                | a   |                          |  |                                   |                                 |  |
|   |                | a   |                          |  |                                   |                                 |  |
|   |                | a   |                          |  |                                   |                                 |  |
|   |                | a   |                          |  |                                   |                                 |  |
|   |                | a   |                          |  |                                   |                                 |  |
|   |                | a   |                          |  |                                   |                                 |  |
|   |                | a   |                          |  |                                   |                                 |  |
| Temperatura ambiental y de funcionamiento permisible de la Balanza analitica EI/04 °C +5...+40                              |                |   |                          | Temperatura de trabajo de la estufa EI-21 a 103 a 105 °C |                                   |                                 |  |



*[Handwritten Signature]*

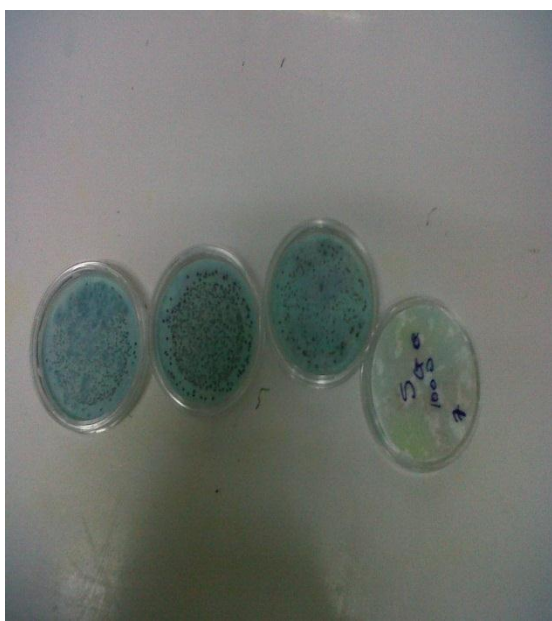
**ANEXO 7: ANÁLISIS DE MUESTRAS**



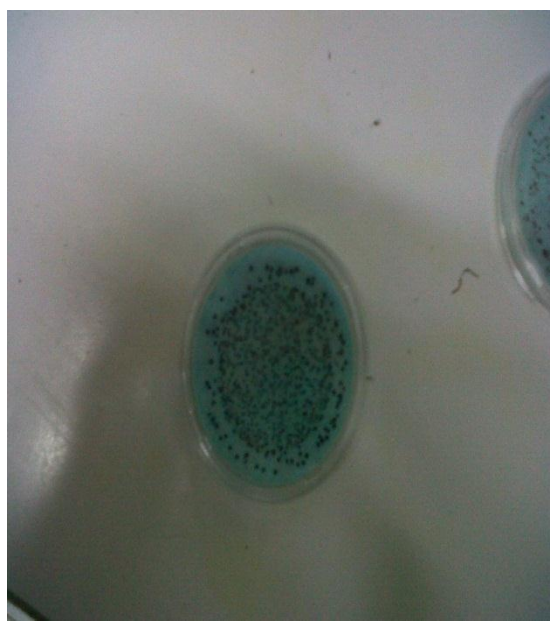
ceniza



ceniza



Coliformes totales y fecales



Coliformes totales y fecales





Demanda Bioquímica de Oxígeno



Sulfuros



Sólidos Volátiles



Medición de DBO<sub>5</sub>



pH



Siembra de C.T y C.F



Muestras a analizar



Medición de DBO<sub>5</sub>



Demanda Química de Oxígeno



Sólidos Totales y Humedad

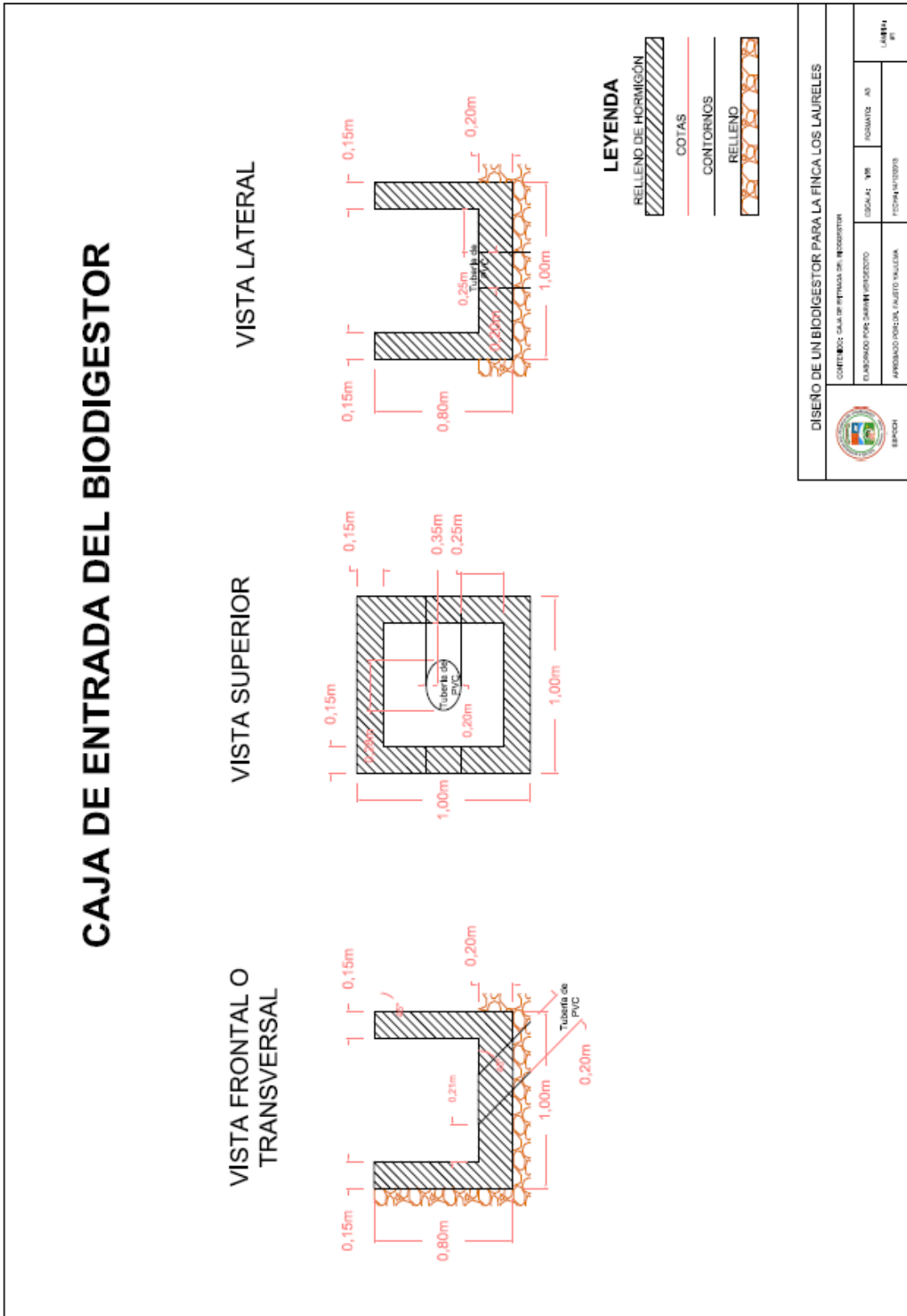


Sólidos Volátiles



Medición de  $DBO_5$

**ANEXO 8: PLANO DE LA CAJA DE ENTRADA DEL BIODIGESTOR**

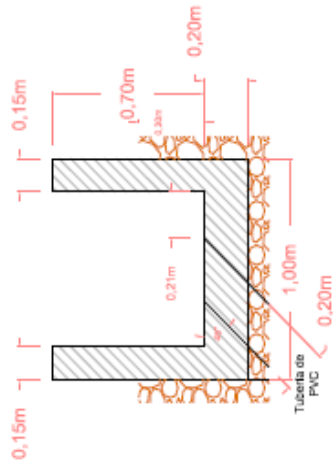




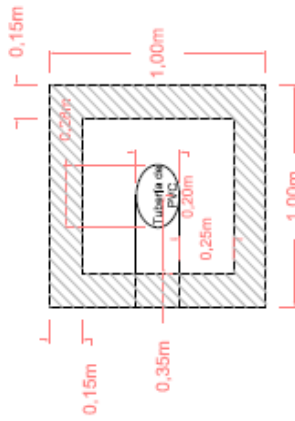
ANEXO 9: PLANO DE LA CAJA DE SALIDA DEL BIODIGESTOR

# CAJA DE SALIDA DEL BIODIGESTOR

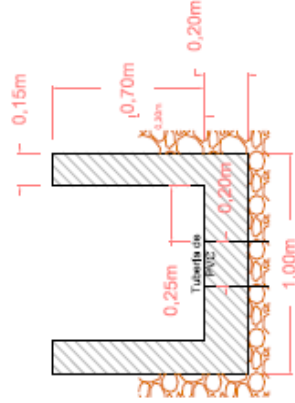
VISTA FRONTAL O TRANSVERSAL



VISTA SUPERIOR



VISTA LATERAL

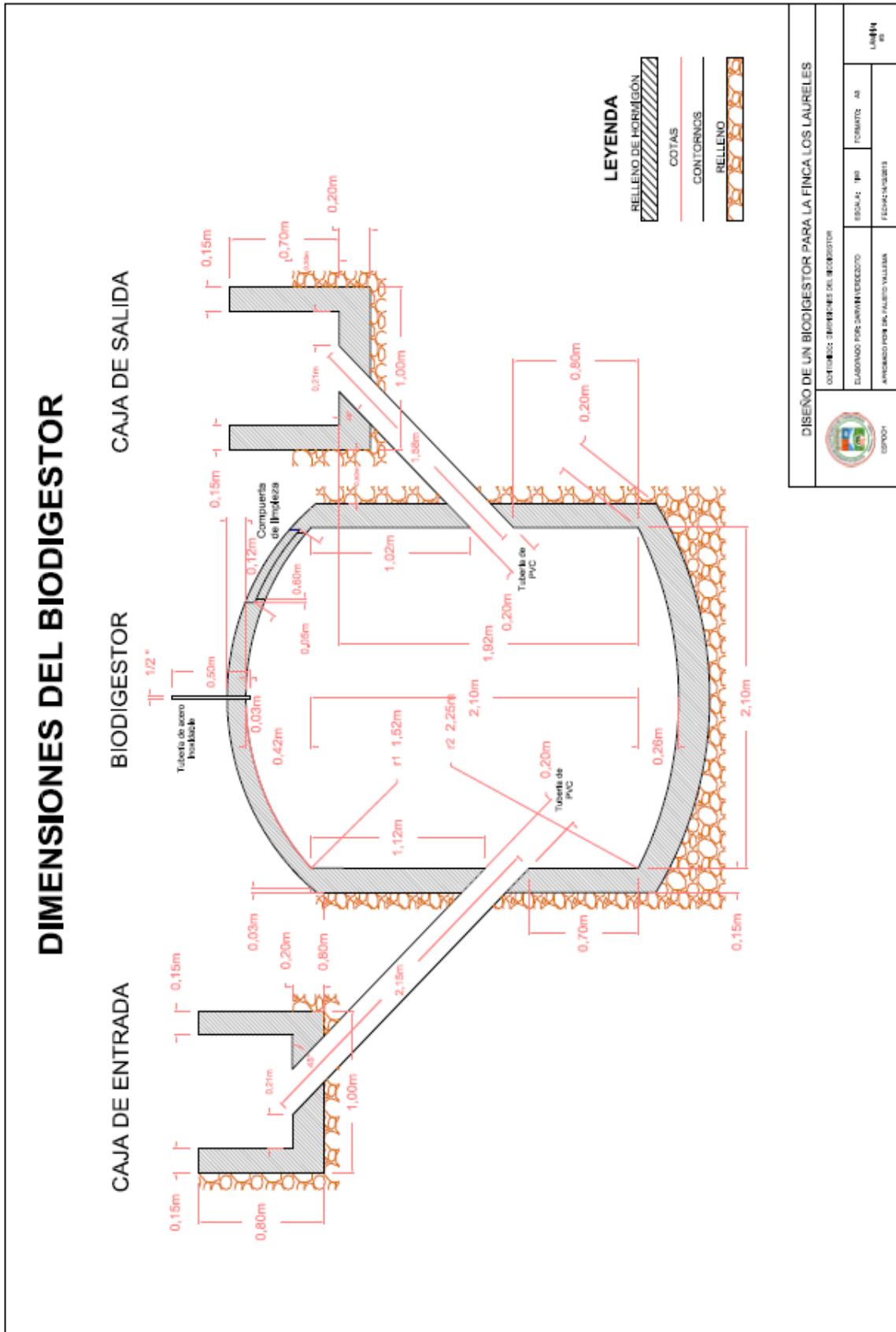


**LEYENDA**

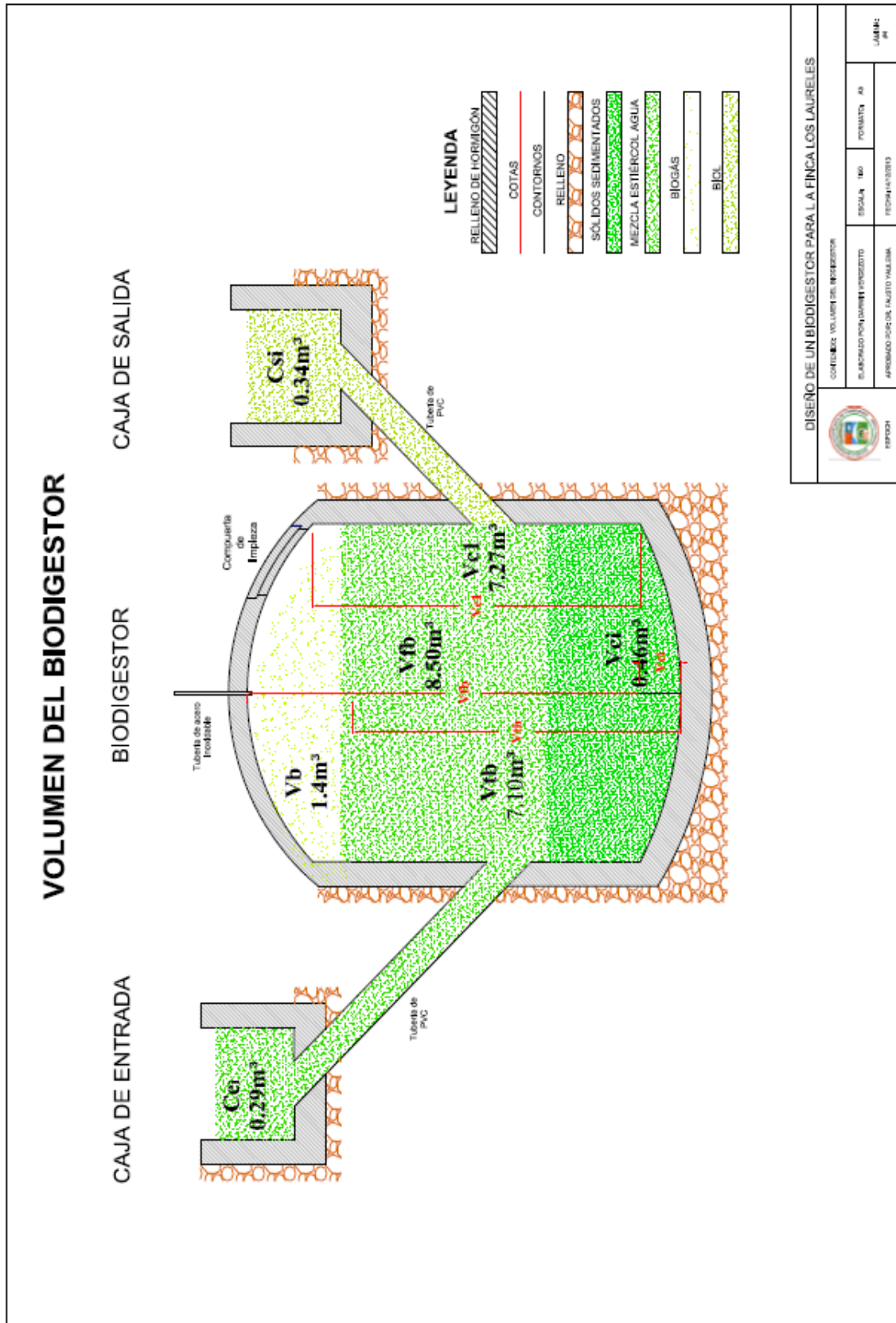


|  |                   |                   |          |
|--|-------------------|-------------------|----------|
| <br>EPDPOCI |                   |                   |          |
| DISEÑO DE UN BIODIGESTOR PARA LA FINCA LOS LAURELES  |                   |                   |          |
| COMISIÓN: CAJA DE SALIDA DEL BIODIGESTOR   |                   |                   |          |
| ELABORADO POR: JUAN CARLOS VILLALBA  | REVISADO POR:     | DISEÑADO POR:     | LUGAR:   |
| FECHA: 14/08/2023  | FECHA: 14/08/2023 | FECHA: 14/08/2023 | LAURELES |

ANEXO 10: PLANO DE LAS DIMENSIONES DEL BIODIGESTOR

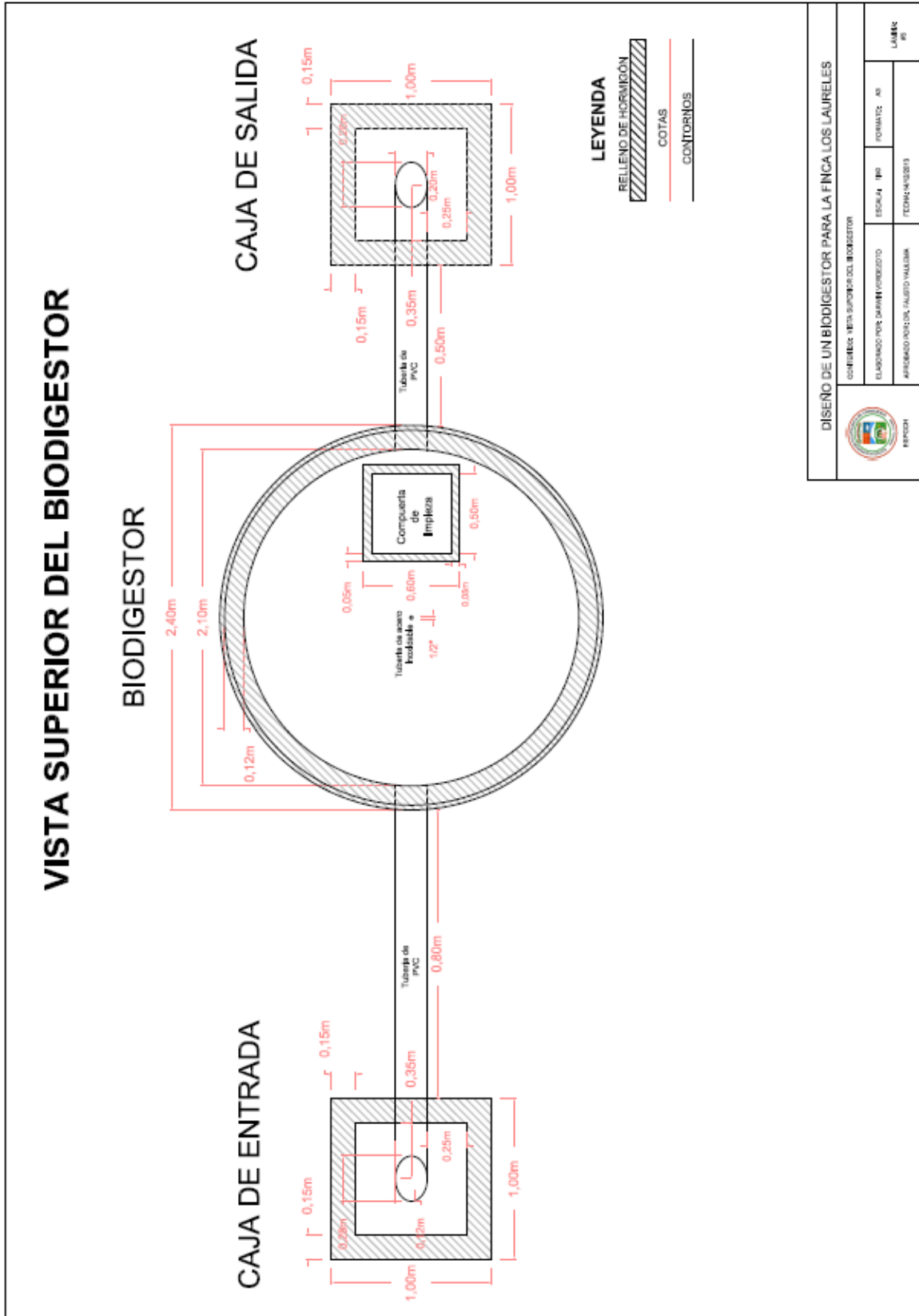


ANEXO 11: PLANO DEL VOLUMEN FINAL DEL BIODIGESTOR.



|  |                            |            |              |
|--|----------------------------|------------|--------------|
| DISEÑO DE UN BIODIGESTOR PARA LA FINCA LOS LAURELES  |                            |            |              |
| CONTENIDO: VOLUMEN DEL BIODIGESTOR   |                            |            |              |
| <br>REPÚBLICA<br>DE CHILE | ELABORADO POR              | ESCALA     | FORMATO      |
|  | DAVID RAMÍREZ VARGAS       | 1:50       | A3           |
|  | APROBADO POR               | FECHA      |              |
|  | DR. JOSÉ ANTONIO VALDEBANO | 14/03/2013 |              |
|  |                            |            | LÁMINA<br>#1 |

**ANEXO 12: PLANO DE LA VISTA SUPERIOR DEL BIODIGESTOR.**



|  |                                   |              |                   |
|--|-----------------------------------|--------------|-------------------|
| <b>DISEÑO DE UN BIODIGESTOR PARA LA FINCA LOS LAURELES</b>   |                                   |              |                   |
| CENTRO DE INVESTIGACIONES DEL BIODIGESTOR  |                                   |              |                   |
| <br>INSTITUCIÓN | ELABORADO POR: DANIEL VERGARA     | ESCALA: 1/50 | FORMATO: A3       |
|  | APROBADO POR: DR. RAÚL VALDERRAMA |              | FECHA: MARZO 2013 |
|  |                                   |              |                   |



**ANEXO 13: PLANO DE LA VISTA SUPERIOR DEL BIODIGESTOR, ESTABLO, VIVIENDA Y AVÍCOLA**

